



**Effet combiné de la génétique et de la  
nutrition sur la santé et le bien-être animal :  
Impact sur les dermatites de  
contact chez les volailles**

Mémoire de fin d'études  
Master 2 **Qualité et Environnement en Productions Animales**

Réalisé par  
**Nabeel ALNAHHAS**

Maîtres de stage  
**Sandrine MIGNON-GRASTEAU**  
**Elisabeth LE BIHAN-DUVAL**

**EQUIPE (SAQSE) : SÉLECTION AVICOLE, QUALITÉ, SÉCURITÉ ALIMENTAIRE  
ET ENVIRONNEMENT  
UNITÉ DE RECHERCHES AVICOLES  
STATION DE RECHERCHES AVICOLES  
INRA – CENTRE DE TOURS – 37380 NOUZILLY, FRANCE**



## **Remerciements :**

Tout d'abord, je tiens à remercier mes maîtres de stage, **Sandrine MIGNON-GRASTEAU** et **Elisabeth LE BIHAN-DUVAL** de m'avoir accueilli au sein de leur équipe et de m'avoir permis de progresser sans cesse durant ces 6 mois de stage. Votre encadrement, vos remarques précieuses et attentives, vos conseils et nos discussions étaient complètement enrichissants et m'ont permis de mener à bien toutes mes missions de stage.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à **Anne BROSSIER** de m'avoir aidé et accompagné durant la réalisation de mes missions de stage.

Mes remerciements s'adressent aussi à **Nathalie MÊME**, **Agnès NARCY** et à **Bertrand MEDA** pour leur aide et leurs explications qui m'ont permis de mieux progresser sur les aspects environnementaux de mon projet.

Je remercie également tous les membres de l'équipe SAQSE, chercheurs, thésards et techniciens de leur précieuse aide et sympathie qui ont facilité mon intégration dans l'équipe.

## Résumé :

Ce projet avait pour but d'étudier l'effet combiné (l'interaction) de la génétique et de la nutrition sur la santé et le bien-être du poulet de chair et de déterminer si la sélection génétique sur la capacité digestive pourrait permettre d'augmenter le taux des matières premières dites alternatives dans les aliments du poulet sans compromettre leur santé et bien-être. Pour répondre à cette question 846 poulets de chair issus d'une expérience de sélection divergente pour une forte (D+) ou faible (D-) capacité digestive ont été élevés avec un régime classique ou alternatif. Le régime classique à base de maïs et de tourteau de soja était facile à digérer. Le régime alternatif incluait une variété de blé particulièrement difficile à digérer (Rialto) et du tourteau de colza. Pour chacun de ces quatre traitements expérimentaux, huit répétitions ont été effectuées.

Afin d'évaluer globalement l'impact d'une stratégie combinant la sélection et la nutrition sur la durabilité, de nombreux indicateurs relevant des trois piliers de la durabilité ont été mesurés.

Les résultats relevant du pilier économique montrent que les D+ présentent de meilleures performances que les D- quel que soit le régime. Ainsi, les D+ présentent un poids vif plus élevé (+1.5% sur maïs et +5.7% sur blé), un indice de consommation plus bas (-9.4% sur maïs et -24.1% sur blé), un moindre taux de mortalité cumulatif (-77 sur maïs et -78% sur blé) et un rendement de filet plus important (+8.32% sur maïs et 7.15% sur blé) que ceux des D- sur régime maïs et alternatif respectivement.

Les résultats portant sur le pilier social montrent que la sélection pour la capacité digestive modifierait peu (comportement alimentaire) ou pas du tout (comportement exploratoire et social) les aspects comportementaux chez le poulet de chair. Les dermatites de contact, utilisées comme indicateurs du bien-être, sont également peu affectées par la sélection. Bien que la prévalence des pododermatites soit de 100% à 54 jours, la sévérité n'a pas dépassé 3.5 sur une échelle de 10 scores. De plus, la sévérité d'autres formes de dermatites comme les ampoules de bréchet et les brûlures tarsiennes était très faible.

Quant aux aspects environnementaux, la sélection génétique sur la capacité digestive a permis de réduire non seulement la quantité de rejets produite par kg de poids vif (D+ vs D- -29% et -43% sur régime maïs et alternatif respectivement) mais aussi la quantité d'azote rejetée dans l'environnement (D+ vs D- : à 7 jours : -18.3 et -54.5%, à 21 jours -22.3% et -51.6% d'azote ammoniacal dans la litière sur régime maïs et alternatif respectivement).

En conclusion, la sélection génétique sur la capacité digestive s'avère un outil efficace pour l'amélioration des différents aspects de la durabilité des systèmes de production avicole.

**Mots-clés :** capacité (efficacité) digestive, poulet de chair, sélection génétique, interaction, bien-être, dermatites de contact, durabilité.

## English abstract:

This project aimed at studying the combined effect (interaction) of genetics and nutrition on the health and welfare status of broiler chickens and at determining the possibility of using genetic selection based on digestive capacity in order to increase the incorporation of alternative feedstuffs in broiler ratios without compromising their health and welfare. To answer this question, 846 broiler chickens belonging to two genetic lines selected for high (D+) or low (D-) digestive capacity were reared and feed a standard or alternative diet. The standard diet consisted of maize and soybean meal and characterized by being easy to digest. The alternative ratio, on the other hand, consisted mainly of wheat (from a strain called *Rialto* known for being very difficult to digest), rape seed meal and a reduced proportion of soy bean meal which made it difficult to digest by the birds. Thus, four experimental groups were formed: D+ on standard and alternative diets, D- on standard and alternative diets. Each group was subdivided into four repetitions and 32 pens in total were used (4 experimental groups × 4 repetitions × 2 experiments).

In order to globally evaluate the combined effect of genetic selection and nutrition on the sustainability of broiler production systems, several indicators of its three pillars were measured.

The economic pillar results showed that the D+ birds had considerably higher performances than the D- birds. At 8 weeks, in comparison to the D- birds, the D+ birds had a higher body weight (+1.5%,  $p>0.05$  and +5.71%,  $p<0.05$ ), a lower FCR (-9.4%,  $p<0.05$  and -24.14%,  $p<0.05$ ), a lower cumulative mortality (-77%,  $p<0.0083$  and -78.63%,  $p<0.0083$ ) and a higher breast meat yield (+8.32%,  $p<0.05$  et 7.15%,  $p<0.05$ ) on the standard and the alternative diets respectively. Genetic selection based on the digestive capacity, as indicated by the results of the present study, would have a very limited influence on certain aspects of the birds' nutritional behavior and no influence at all on other behavioral aspects such as the exploratory and social aspects. Moreover, even though the prevalence of footpad dermatitis, the most used indicator of poultry welfare, was very high and reached 100% at 8 weeks, the severity of this affection didn't exceed 3.5 on the ten scores evaluation scale used in this study. These results indicated that broiler natural behavior and welfare weren't altered by genetic selection for digestive capacity. From environmental point of view, using this criterion of selection permitted not only a quantitative decrease of birds' droppings (D+ vs. D- : -29%,  $p<0.05$  and -43%,  $p<0.05$  on standard and alternative diets respectively) but also a qualitative reduction in one of the major chemical constituents of these droppings; nitrogen. In fact, the litter in the D+ pens contained less ammonia than this of the D- birds (D+ vs. D- : -18.3,  $p>0.05$  and -54.5%,  $p<0.05$  at 7 days, -22.3%,  $p>0.05$  and -51.6%,  $p<0.05$  at 14 days on standard and alternative diets respectively).

In conclusion, selecting broiler chickens for higher digestive capacity was proven to be an effective method in improving the sustainability of broiler production systems through the improvement of its three major pillars: the economy, the environment and the animal welfare.

**Key words:** digestive capacity, broiler, genetic selection, interaction, welfare, contact dermatitis, sustainability.

## Table des matières:

Remerciements .....	III
Résumé .....	IV
English abstract .....	V
Table des matières .....	VI
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des figures .....	VIII
Introduction .....	1
Partie I.....	3
Chapitre 1 : Le bien-être animal.....	3
1.1. Notion et définition .....	3
1.2. Evaluation du bien-être animal .....	3
1.3. Les dermatites de contact comme indicateurs de l'état du bien-être animal .....	4
Chapitre 2 : Les dermatites de contact chez les volailles .....	6
2.1. Définition et impact économique .....	6
2.2. Histopathologie .....	6
2.3. Symptômes cliniques .....	7
2.4. Evolution des lésions .....	7
2.5. Etiologie .....	7
2.5.1. Effet de la qualité de la litière et des facteurs environnementaux .....	7
2.5.2. Facteurs nutritionnels .....	11
2.5.3. Facteurs génétiques .....	14
2.5.4. Les systèmes d'élevage alternatifs .....	15
Partie II : Expérience.....	18
Chapitre 1 : Matériels et méthodes .....	18
1.1. Animaux .....	18
1.2. Aliments .....	18
1.3. Les mesures réalisées .....	20
1.3.1. Performances zootechniques .....	20
1.3.2. Comportement et bien-être animal .....	20
1.3.3. La qualité de l'air et de la litière .....	20
1.3.4. Mesure du statut immunitaire des animaux .....	22
1.3.5. Digestibilité et qualité de l'os .....	22
1.4. Analyses statistiques .....	22
Chapitre 2 : Résultats .....	25
2.1 Résultats relevant du pilier social de la durabilité .....	25
2.1.1. Mortalité .....	25
2.1.2. Dermatites de contact .....	25
2.1.3. Comportement .....	27
2.2. Résultats relevant du pilier économique de la durabilité.....	29
2.2.1. Poids vif et croissance .....	29
2.2.2. Consommation et efficacité alimentaires .....	29
2.2.3. Composition corporelle et qualité de la viande.....	30
2.3. Résultats relevant du pilier environnemental de la durabilité .....	31
2.3.1. Qualité de la litière.....	31
2.3.2. Qualité de l'air .....	32
2.4. Analyse factorielle en correspondances multiples .....	36
Chapitre 3 : Discussion .....	37
3.1. Le social .....	37

3.2. L'économie .....	39
3.3. L'environnement .....	39
Conclusion .....	41
Bibliographie.....	43
Sites Internet consultés (sources en ligne):.....	48

## Liste des tableaux :

Tableau 1. Héritabilité et corrélation génétique des pododermatites. ....	13
Tableau 2: Traitements expérimentaux et effectif. ....	17
Tableau 3: la composition chimique et les caractéristiques nutritionnelles des aliments. ....	17
Tableau 4: Température et programme lumineux. ....	19
Tableau 5: Grille d'évaluation des brûlures tarsiennes ....	19
Tableau 6. Les analyses faites dans le cadre du projet CARNOT. ....	24
Tableau 7. Le taux de mortalité hebdomadaire ....	25
Tableau 8. Prévalence des dermatites de contact à 1, 3 et 8 semaines. ....	26
Tableau 9. Fréquence des animaux pas ou peu atteints en fonction de l'âge. ....	26
Tableau 10. Prévalence des dermatites de contact selon l'âge et le sexe. ....	27
Tableau 11. Moyennes des moindres carrés des scores des pododermatites. ....	27
Tableau 12. Proportion moyenne d'animaux dans chaque type de comportement. ....	28
Tableau 13. La consommation journalière ....	29
Tableau 14. L'indice de consommation. ....	30
Tableau 15. Moyenne des moindres carrés pour les caractères de composition corporelle, d'anatomie et de qualité de la viande. ....	31
Tableau 16. Moyenne des moindres carrés des caractéristiques de rejets et de qualité de litière. ....	32
Tableau 17. L'émission d'ammoniac ....	33
Tableau 18. Contribution des différents caractères à la variabilité des axes retenus de l'ACM. ....	33

## Liste des figures :

Figure 1. Les pododermatites. ....	5
Figure 2. Aspects histopathologiques. ....	5
Figure 3. Effet du substrat de la litière sur l'incidence des pododermatites. ....	10
Figure 4. Effet du génotype sur la sévérité des pododermatites ....	13
Figure 5. Effet du génotype sur la sévérité des brûlures tarsiennes ....	13
Figure 6. Organisation générale des parquets ....	17
Figure 7: Grille d'évaluation des pododermatites. ....	19
Figure 8. L'analyseur de gaz en fonctionnement. ....	21
Figure 9. La chambre de mesure des concentrations gazeuses ....	21
Figure 10. Evolution du poids vif des quatre traitements expérimentaux. ....	29
Figure 11. L'analyse des correspondances multiples (1 <sup>er</sup> vs 2 <sup>ème</sup> axes). ....	35
Figure 12. L'analyse des correspondances multiples (1 <sup>er</sup> vs 3 <sup>ème</sup> axes). ....	35
Figure 13. Répartition des caractères mesurés dans les trois piliers de la durabilité. ....	37





## Introduction :

Durant les dernières cinquante années, l'élevage avicole a connu une forte intensification en grande partie grâce à la sélection génétique de la vitesse de croissance et l'efficacité alimentaire chez le poulet de chair. Cela a abouti à multiplier par cinq la vitesse de croissance (2672g en 2011 vs 539g en 1957) et à diminuer l'indice de consommation de plus de 30% (2.34 en 1957 vs 1.62 en 2001) à l'âge de 42 jours (Havenstein et al., 2003). Cependant, ces performances élevées impliquent de formuler des aliments adaptés aux besoins nutritionnels des animaux et à leur métabolisme, i.e. des aliments riches et concentrés en nutriments. Par conséquent, l'utilisation de certaines matières premières pouvant fournir ces nutriments tout en étant facile à digérer telles que le maïs comme source d'énergie et le tourteau de soja comme source de protéines a beaucoup augmenté au détriment d'autres matières premières qualifiées de plus difficiles à digérer telles que le blé et l'orge. Cela a créé de nouvelles contraintes, à la fois, pour les pays producteurs et consommateurs de ces matières premières. Par exemple, au Brésil la production de soja entraîne une forte déforestation. En Europe, importateur de ces matières premières, ces régimes entraînent une dépendance vis-à-vis des sources étrangères de protéines végétales. En 2010/2011, la consommation globale du tourteau de soja dans l'Union Européenne était de 34.1 millions de tonnes alors que la production globale n'était que de 10.3 millions de tonnes. Par conséquent l'Union Européenne a dû importer 23.8 millions de tonnes soit près de 70% de sa consommation (MVO, 2011). Pour la France la dépendance est encore plus forte. En effet, la production française du tourteau de soja (140 000 t en 2011) ne représente que 3% de ses besoins. Elle est donc obligée de compenser la différence par l'importation du soja qui était de 4.6 mt en 2011 et représentait 14% des importations européennes de cette matière première (MVO, 2011).

Face aux demandes économiques, environnementales, énergétiques et alimentaires actuelles, cette dépendance n'est plus soutenable. L'Union Européenne doit donc la diminuer afin de limiter les impacts négatifs non seulement sur son territoire mais aussi dans les pays producteurs. Cependant, Havenstein et al. (2003) ont montré que les génotypes modernes n'étaient plus adaptés aux régimes ne contenant pas ces protéines de haute qualité.

Une des voies essentielles qui doit être envisagée afin de réduire la dépendance de l'importation de tourteau de soja est donc la sélection génétique des lignées de poulet de chair ayant une forte capacité à digérer des matières premières alternatives, locales et de moins bonne qualité.

Pour que cette stratégie soit durable, il faut qu'elle prenne en compte les paramètres relevant des trois piliers de la durabilité. Elle doit maintenir ou améliorer les performances économiques (la croissance, l'efficacité alimentaire et la mortalité), ne pas contribuer à affecter les rejets (pilier environnemental), et ne pas dégrader la qualité des produits et le bien-être animal (pilier social).

C'est dans ce cadre que se positionne le projet CARNOT ayant pour objectif d'améliorer la durabilité des systèmes de production de poulet de chair par la sélection d'animaux présentant de bonnes capacités à digérer des aliments alternatifs. Les objectifs sont de (1) diminuer la concurrence entre l'homme et l'animal pour l'accès aux ressources naturelles en augmentant la part de matières premières non utilisables en alimentation humaine dans les aliments des volailles et (2) de diminuer la dépendance au soja. Afin d'évaluer l'application potentielle d'une telle stratégie, l'effet combiné de la sélection génétique (pour la capacité digestive) et de la nutrition a été évalué sur de nombreux critères relevant des trois piliers de la durabilité.

Mon travail consistait à évaluer plus particulièrement les aspects liés au pilier social de la durabilité, en étudiant le comportement des animaux et la fréquence des dermatites de contact qui dégradent fortement le bien-être. Le lien de ces caractères avec les mesures relevant des

autres piliers a également été étudié, afin d'évaluer l'impact de la sélection de la digestibilité sur la durabilité du système de production.

# Partie I

## Chapitre 1 : Le bien-être animal

### 1.1. *Notion et définition :*

Dans son rapport, Brambell, (1965) a proposé une définition du bien-être animal prenant en compte les aspects physiques mais aussi mentaux de l'animal. Dans ce rapport, Brambell a défini aussi les cinq libertés indispensables au bien-être :

- Absence de faim et de soif en présentant aux animaux de l'eau fraîche et de l'aliment de façon à ce qu'ils restent actifs et dans un bon état de santé.
- Absence d'inconfort en fournissant aux animaux un environnement propice y compris un abri confortable et une zone de repos.
- Absence de douleur, blessure et maladie par moyen de prévention ou de diagnostic et de traitement rapides.
- Liberté d'exprimer le comportement animal naturel en fournissant aux animaux assez d'espace, des bâtiments d'élevage propres et la compagnie de leur propre espèce.
- Absence de peur et de détresse en fournissant aux animaux des conditions rassurantes et les traitements qui permettent d'éviter la souffrance mentale.

Le bien-être animal est donc une notion multidisciplinaire qui peut être appréciée en réunissant différentes sciences biologiques à savoir, la physiologie, la science vétérinaire, l'éthologie, la psychologie comparative (Carenzi et Verga, 2009).

Le bien-être est atteint si les animaux n'ont pas besoin d'effort pour s'adapter à l'environnement et que tous les besoins et motivations de l'individu sont satisfaits. Si l'environnement n'est pas parfait, l'animal doit produire un effort modéré pour satisfaire ses besoins, on est dans le cas de l'adaptation. Enfin, si l'environnement est trop éloigné de l'idéal, à un tel point que l'animal ne puisse plus s'adapter, alors on est dans le cas de la souffrance (Veissier et al., 2000).

### 1.2. *Evaluation du bien-être animal :*

Dans le cadre du projet Européen *Welfare Quality*®, Arnould et Colin, (2007) ont proposé d'utiliser les mesures individuelles suivantes pour évaluer le bien-être animal en élevage:

1. Les dermatites au niveau des surfaces plantaires (les pododermatites) en utilisant une échelle à 10 niveaux.
2. Les dermatites au niveau des tarse (les brûlures tarsiennes) en utilisant une échelle à 7 niveaux.
3. La propreté du plumage sur une échelle à 4 niveaux.
4. La présence d'au moins une des affections suivantes : yeux larmoyants ou gonflés, problèmes respiratoires, jabot gonflé, diarrhée, lésion de la moelle épinière (animaux ne pouvant pas se déplacer vers l'avant).

## 5. La qualité de la démarche sur une échelle de boiterie à 6 scores.

Les sujets mesurés sont choisis aléatoirement à partir de 10 points dans le bâtiment d'élevage à l'aide d'un logiciel. Les scores obtenus sont ensuite analysés statistiquement et les relations entre eux sont étudiées globalement pour déterminer l'état de bien-être des animaux.

L'avantage de ces indicateurs est leur simplicité et leur rapidité de mesure. Ainsi, si dans le protocole décrit dans *Welfare Quality*® il n'est prévu de mesurer qu'un échantillon restreint d'animaux, il est possible d'envisager de les utiliser sur un nombre beaucoup plus large d'animaux ce qui a été fait dans le cadre du projet CARNOT.

Du fait que les besoins nutritionnels des animaux sont normalement satisfaits par les aliments qu'ils consomment pendant la période d'élevage et que les conditions d'élevage appliquées actuellement correspondent également à leurs besoins, la prise en compte des cinq libertés décrites par Brambell. (1965) dans l'évaluation du bien-être animal est complétée par l'évaluation des dermatites de contact et du comportement animal.

### **1.3. Les dermatites de contact comme indicateurs de l'état du bien-être animal :**

Les dermatites de contact (les pododermatites, les brûlures tarsiennes et les ampoules du bréchet) sont considérées comme un des indicateurs les plus importants de l'état du bien-être animal, et à la base des systèmes d'évaluation du bien-être animal dans plusieurs pays Européens (Ekstrand et al., 1998; Broom et Reefmann., 2005; Meluzzi et al., 2008; Allain et al., 2009). La réglementation Européenne (la Directive 2007/43/CE du 28/06/2007) exige qu'un vétérinaire officiel effectue des inspections post-mortem à l'abattoir pour vérifier l'absence des indicateurs du mal-être animal en particulier les dermatites de contact ce qui en fait un critère standard de l'évaluation du bien-être animal.

L'importance des dermatites de contact en tant qu'indicateur du bien-être animal vient du fait qu'une gamme très diverse de facteurs est à l'origine de cette affection. Leur présence peut en effet témoigner d'un ensemble de conditions défavorables telles qu'une dégradation de la litière (Martland, 1984, 1985 ; McIlroy et al., 1987 ; Bruce et al., 1990 ; Mayne et al., 2007), une carence alimentaire en Biotine (Marusich et al., 1970), en Riboflavine (Patrick et al., 1943) ou en méthionine (Chavez et Kratzer., 1972) ou au contraire l'excès de certains nutriments comme les protéines (Nagaraj, 2006 ; Youssef, 2011), les lipides (Bilgili et al., 2006) ou le sodium et le potassium (Smith et al., 2000). Une mauvaise qualité de l'air dans l'élevage (Martland, 1985 ; Youssef, 2011), une densité trop élevée (Martland, 1984 ; Haslam et al., 2006), ou un design du système d'abreuvement inapproprié (Allain et al., 2009) peuvent également entraîner l'incidence de cette affection. Des facteurs indépendants de l'éleveur peuvent également influencer l'incidence et la sévérité des dermatites, comme par exemple la saison (Meluzzi et al., 2008), ou encore le génotype des animaux (Harms et Simposon., 1975 ; McIlroy et al., 1987 ; Bruce et al., 1990 Bilgili et al., 2006 ; Nagaraj, 2006 ; Hashimoto et al., 2010) et le système de production et le type d'élevage (Broom et Reefmann., 2005 ; Pagazaurtundua et Warriss., 2006 ; Meluzzi et al., 2008). Par conséquent, l'évaluation des dermatites de contact est un indicateur global de l'état de santé et donc du bien-être des animaux de l'élevage tout en tenant compte de leurs conditions d'élevage, environnement et alimentation.

## Les Pododermatites :

Aspect Macroscopique :

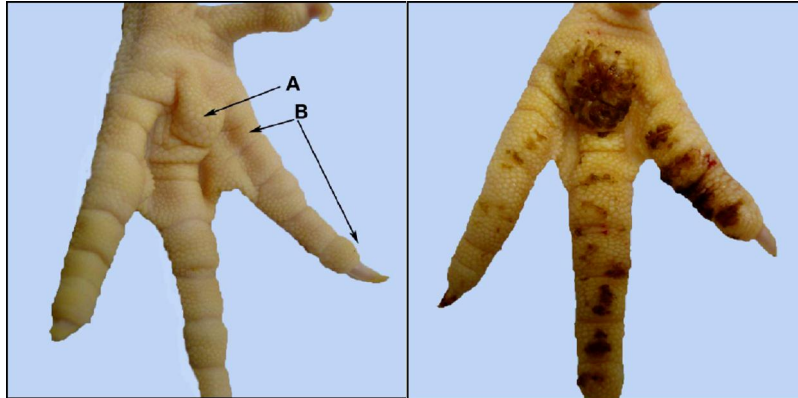


Figure 1. Les pododermatites. A gauche : surface plantaire normale (A : coussinet plantaire, B : les coussinets digitaux). A droite : une affection sévère. (d'après Youssef, 2011).

Aspect Microscopique :

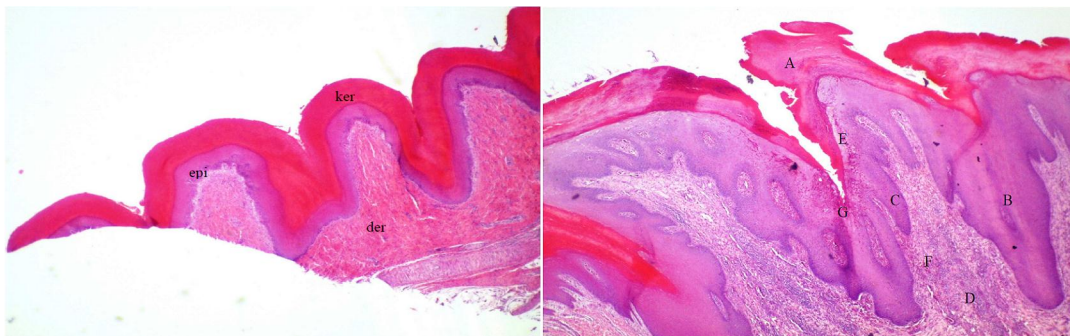


Figure 2. Aspects histopathologiques. A gauche : Derme et épiderme normaux (ker :kératine, epi :épiderme et der :derme). A droite : Une affection sévère (A : hyperkératose, B : hyperplasie épidermique, C : acanthose épidermique, D : densité élevée des vaisseaux sanguins du derme, E : dégénération hydropique, F : présence de cellules inflammatoires au derme, G : ulcère de l'épiderme) H&E (2.5X) (d'après Abd-El Wahab, 2011).

## Chapitre 2 : Les dermatites de contact chez les volailles

### 2.1. Définition et impact économique:

Les dermatites sont une affection de la peau touchant le poulet de chair, les reproducteurs et la dinde (Nagaraj, 2006). Selon l'endroit atteint, on parle de pododermatites (Figure 1), brûlures du tarse ou du bréchet (Greene et al., 1985 ; Maclroy et al., 1987 ; Bruce et al., 1990). Au niveau macroscopique, elles se caractérisent par l'ulcération et l'érosion et une décoloration brun à noir de l'épiderme. Au niveau microscopique, l'épiderme est enflammé voire nécrosé (Greene et al., 1985).

Outre leur impact négatif sur le bien-être animal, les dermatites de contact causent aussi des pertes économiques pour l'élevage, de façon directe ou indirecte.

L'impact **direct** vient du fait que, bien que les pattes du poulet soient considérées comme des parties de poulet non consommables en Europe et aux Etats-Unis, elles sont largement consommées comme snacks et font partie de nombreux plats traditionnels dans de nombreux pays surtout à l'est de l'Asie (Asia trade watch, 2011, source en ligne). En effet, la Chine à elle-même a importé, en 2009, 377.805 tonnes de pattes de poulet pour une valeur économique de 287 millions de dollars (Richburg, 2011, source en ligne). Ce marché a ainsi placé les pattes au 3<sup>ème</sup> rang des parties les plus consommées du poulet après le filet et les ailes (Shepherd et Fairchild, 2010). La dégradation de la qualité des pattes entraînée par les pododermatites réduit fortement leur valeur économique. Actuellement, les pododermatites sont responsables dans 99% des cas des saisies de carcasse à l'abattoir aux Etats-Unis (Kelly, 2011, source en ligne).

En raison de la forte association entre les trois différentes formes de dermatites de contact (de 0.65 à 0.76 entre pododermatites et brûlures tarsiennes et 0.45 entre ampoules du bréchet et brûlures tarsiennes, Meluzzi et al., 2008; Allain et al., 2009), il est normal que la dégradation, dans les lots touchés par les pododermatites, atteigne le bréchet provoquant ainsi la perte de la partie la plus importante de la carcasse du poulet ;le filet.

De façon **indirecte**, les pododermatites entraînent une réduction de la vitesse de croissance, parce que les animaux atteints réduisent leur consommation alimentaire pour limiter la douleur ressentie lorsqu'ils marchent pour aller se nourrir ou boire (Martland, 1985) ce qui explique cette réduction de croissance. Enfin, les pododermatites peuvent servir de porte d'entrée pour les nombreuses bactéries omniprésentes dans l'environnement de l'élevage entraînant ainsi des infections et des maladies, surtout celles causées par *Staphylococcus aureus* (Berg, 1998) et donc un taux de mortalité plus élevé et une augmentation des frais vétérinaires et une diminution de la marge de l'éleveur.

### 2.2. Histopathologie :

Les lésions (Figure 2) pour tous les trois types de dermatite de contact (les pododermatites, les brûlures tarsiennes et les ampoules du bréchet) sont similaires (Martland, 1985). Le traumatisme entraîné par la pression continue du poids du corps sur les points de contact avec la litière induit l'apoptose (la mort cellulaire) suite à laquelle le turnover des kératinocytes augmente ce qui entraîne l'hyperkératose des coussinets plantaires et la séparation des couches de kératine sous-développées (Platt et al., 2001). En effet, la réaction de la peau affectée consiste en la présence d'un débris basophile dans les couches de kératine, l'infiltration diffuse du derme par les hétérophiles, la présence localisée de celles-ci dans la couche sous épidermique et occasionnellement dans l'épiderme (Greene et al. 1985). Dans le

cas de brûlures tarsiennes, la réaction inflammatoire ne s'étend pas aux gaines des tendons sous-jacents (Martland, 1985).

La principale caractéristique des ulcères observés est une inflammation aiguë avec une congestion prononcée des capillaires dermiques et une hyperplasie de l'épiderme et du périmètre extérieur des lésions. Au centre de la lésion, l'épiderme normal ainsi que la kératine sont complètement détruits et remplacés par une masse basophile contenant du débris nécrotique (Greene et al., 1985). Dans le cas d'ampoules du bréchet, la formation de cavités tapissées de cellules polygonales et contenant des structures sous forme de doigts au sein d'un tissu granulaire dense est observée. Les ampoules sont remplies d'un liquide mucoïde et légèrement turbide et parfois teinté de sang.

### **2.3. Symptômes cliniques :**

Les animaux affectés ont tendance à se coucher par terre pour limiter le déplacement douloureux. Or, l'apparition des dermatites étant en partie liée au mauvais état de la litière, l'augmentation du temps passé en contact avec la litière a tendance à aggraver les brûlures dont souffrent déjà les animaux affectés (Martland, 1985). De plus, lorsque la litière est bien dégradée, elle peut rendre le plumage plus sal.

### **2.4. Evolution des lésions :**

Les pododermatites commencent par la décoloration brun ó noir de la peau sur les surfaces affectées (les coussinets plantaires) avant l'âge de trois semaines chez le poulet de chair (Martland, 1985) voire dès la première semaine d'âge chez la dinde et le poulet de chair (Mayne et al., 2006 ; Mirabito et al., 2007). L'évolution de la sévérité des lésions amène à la formation d'ulcères couverts de croûte dès l'âge de 3 à 5 semaines (Martland, 1985 ; Mayne et al., 2006 ; Mirabito et al., 2007) d'élevage sur une litière de mauvaise qualité. Ces auteurs ont conclu que l'évolution des lésions était très rapide, puisque le passage du bon au mauvais état des pattes se produisait en quelques jours. En cas de changement de litière, la guérison des lésions se produit en deux semaines (Martland, 1985). La guérison se manifeste par la présence de zones blanches lisses sur la surface plantaire.

### **2.5. Etiologie :**

Les pododermatites sont des affections **multifactorielles** (Greene et al., 1985 ; McIlroy et al., 1987 ; Mayne , 2005 ; Shepherd et Fairchild,2010 ). Le facteur principal est la qualité de la litière (humidité, substrat, épaisseur) (Greene et al., 1985 ; Mayne , 2005 ; Mayne et al., 2007 ; Shepherd et Fairchild,2010). D'autres facteurs prédisposent à cette affection comme la génétique, l'environnement, la nutrition et les conditions d'élevage (densité d'élevage, ventilationí ,etc.) (Mayne, 2005 ; Haslam et al., 2006 ; Haslam et al., 2007 ; Allain et al., 2009 ; Shepherd et Fairchild,2010).

#### **2.5.1. Effet de la qualité de la litière et des facteurs environnementaux:**

La qualité de l'environnement intérieur des bâtiments d'élevage dépend de la qualité de la litière (Ritz, 2005). De plus, le substrat utilisé comme litière a une influence très importante sur la santé de la peau des animaux et il peut influencer l'incidence des blessures au niveau des parties de corps qui y sont en contact (Mendes et al., 2011).



### **2.5.1.1. L'humidité de la litière :**

L'humidité de la litière est un facteur qui est fortement corrélé (0.87) à la sévérité des pododermatites (Meluzzi et al., 2008) et ayant une influence significative sur cette incidence (Martland, 1985). Par exemple, le passage de 13% à 74% d'humidité de litière augmente le score externe des pododermatites de 1.8 à 6.2 (Mayne et al., 2007). Cependant, certains auteurs n'ont pas trouvé de liaison entre ce facteur et les pododermatites (Nagaraj, 2006) ce qui reflète probablement l'origine multifactorielle de ce trouble. En effet, lorsque les animaux vivent sur une litière humide, cela peut amollir les surfaces plantaires, prédisposant ces surfaces aux blessures physiques et donc aux pododermatites. Cette hypothèse est corroborée par la guérison des lésions observée suite au déplacement des animaux d'une unité d'élevage où la litière était humide à une autre où la litière était sèche (Greene et al., 1985 ; Martland, 1985). De plus, la surface d'ulcération s'est réduite de 20.3% sur une litière humide (>60%) à 1% de la surface plantaire sur litière sèche (<20%) (Martland, 1984).

#### **Sources d'humidité de la litière :**

Du fait de l'importance de la qualité de la litière dans l'apparition des pododermatites, les facteurs affectant l'humidité de la litière tels que la saison, la densité d'élevage, la ventilation, la conception du système d'abreuvement et la santé des animaux notamment digestive vont également être reliés à cette pathologie.

#### **La saison :**

L'effet de la saison sur l'incidence des dermatites de contact a été bien documenté dans plusieurs études. En fait, McIlroy et al. (1987) ont indiqué que l'incidence des brûlures tarsiennes et des ampoules du bréchet était plus importante durant les mois d'hiver que durant l'été (brûlures tarsiennes : 23% en hiver vs 18% en été et Ampoules du bréchet : 0.34% en hiver vs 0.18% en été). En 1990, les mêmes observations ont été faites par Bruce et al. qui ont trouvé une incidence de brûlures tarsiennes deux fois plus élevée et une incidence d'ampoules du bréchet trois fois plus élevée en hiver qu'en été. Cet effet de la saison serait lié à l'humidité relative plus élevée durant l'hiver qui va influencer la qualité de la litière et participer à sa dégradation.

#### **La densité d'élevage :**

Haslam et al. (2007) ont trouvé une corrélation positive et significative entre les pododermatites et la densité d'élevage ( $r = 0.229$ ,  $p=0.05$ ). Dans une plage de densité de 27.6 à 45.9 kg /m<sup>2</sup>, l'incidence des lésions sévères de pododermatites varie de 51.3 à 74.5% (Allain et al., 2009). Outre l'effet de la densité sur la dégradation de la litière, elle augmente le temps passé par les animaux couchés par terre en contact avec la litière dégradée ce qui augmente encore l'incidence des pododermatites (Allain et al., 2009). Meluzzi et al. (2008) n'ont en revanche pas trouvé d'effet significatif de la densité sur l'incidence des pododermatites dans une étude épidémiologique comprenant plusieurs facteurs de variations non contrôlés. Cette absence d'effet significatif pourrait s'expliquer par le fait que tant que les conditions environnementales sont maîtrisées, la densité d'élevage n'a pas d'effet sur la qualité de la litière (Dawkins et al., 2004).

McIlroy et al. (1987) ont constaté que l'incidence des autres formes de dermatites de contact était également influencée par la densité d'élevage. Avec notamment une augmentation de 10% et 20% pour les brûlures tarsiennes et les ampoules du bréchet respectivement à une densité élevée (0.045 m<sup>2</sup>/ oiseau) par rapport à une densité moindre (× 0.046 m<sup>2</sup>/oiseau).

### **La ventilation :**

La ventilation contribue à la régulation de l'humidité dans le bâtiment. Durant l'hiver, la ventilation est souvent réduite afin de conserver la chaleur. Elle serait alors insuffisante pour éliminer l'excès d'humidité de l'air et de la litière. Ceci explique l'incidence plus élevée des pododermatites durant cette saison (Meluzzi et al., 2008). De plus, l'urée rejetée par les animaux dans la litière se décompose en ammoniac (Tucker et Walter, 1995). Une mauvaise gestion de la ventilation peut ainsi amener à des niveaux trop élevés de ce gaz (Mayne, 2005) ce qui peut aggraver l'incidence des pododermatites. En raison de sa nature irritante (Miles et al., 2004), une concentration élevée d'ammoniac est donc considérée comme indicateur de mauvaise qualité de la litière (Haslam et al., 2006).

Cette litière contient 7.70 à 11.6 g d'azote ammoniacal et 1.20 à 12.0 g d'acide urique/ kg de litière fraîche à la fin de la période d'élevage (Youssef, 2011). Plusieurs facteurs influencent la production de l'ammoniac à partir de ces deux substances les plus importants étant le pH (un pH basique « 8.5 » augmente la production de l'ammoniac), l'humidité relative (l'humidité élevée « 75% » augmente la production de l'ammoniac), la température (une température élevée augmente la production d'ammoniac) (Ritz et al., 2004) où l'importance du maintien de bonne ventilation dans les bâtiments d'élevage.

### **La conception du système d'abreuvement :**

Le système d'abreuvement peut affecter l'état de la litière et par conséquent l'incidence des pododermatites. En effet, les abreuvoirs trop bas ou dans lesquels la pression d'eau est trop élevée ont tendance à augmenter l'humidité de la litière (Shepherd et Fairchild, 2010). Les petits abreuvoirs sous forme de coupe comparés à 11 autres types d'abreuvoir réduisent l'humidité de la litière (Tucker et Walker, 1999) alors que les abreuvoirs en cloche augmentent cette humidité (Allain et al., 2009).

### **La santé des animaux :**

Les agents pathogènes peuvent également dégrader la litière en augmentant son humidité. Par exemple, les Campylobacters et les Rotavirus, fréquents chez les poulets de chair (McIlroy et al., 1987). Ils provoquent de la diarrhée et augmentent donc l'humidité de la litière. Certaines infections comme la coccidiose et la colibacillose, augmentent quant à elles la consommation et donc les rejets d'eau chez les animaux malades (Mirza, 2011).

#### **2.5.1.2. Le substrat de la litière :**

Plusieurs études ont été conduites afin d'évaluer l'effet de différents substrats sur les pododermatites et d'autres affections de pattes chez le poulet (Su et al., 2000 ; Grimes et al., 2006 ; Meluzzi et al., 2008 ; Bilgili et al., 2009 ; Mendes et al., 2011).

##### **Incidence :**

L'incidence des pododermatites sur paille de blé était plus élevée que celle sur copeaux de bois. Meluzzi et al. (2008) ont trouvé que la prévalence des brûlures tarsiennes sur paille de blé était plus élevée que sur copeaux de bois (60% vs 50%) et que l'incidence des pododermatites était également plus élevée sur paille de blé (51% vs 33% sur paille et copeaux respectivement). Cet effet est d'autant plus important que le poulet passe du temps couché par terre (Bilgili et al., 2009). En revanche, d'autres auteurs (McIlroy et al., 1987 ;

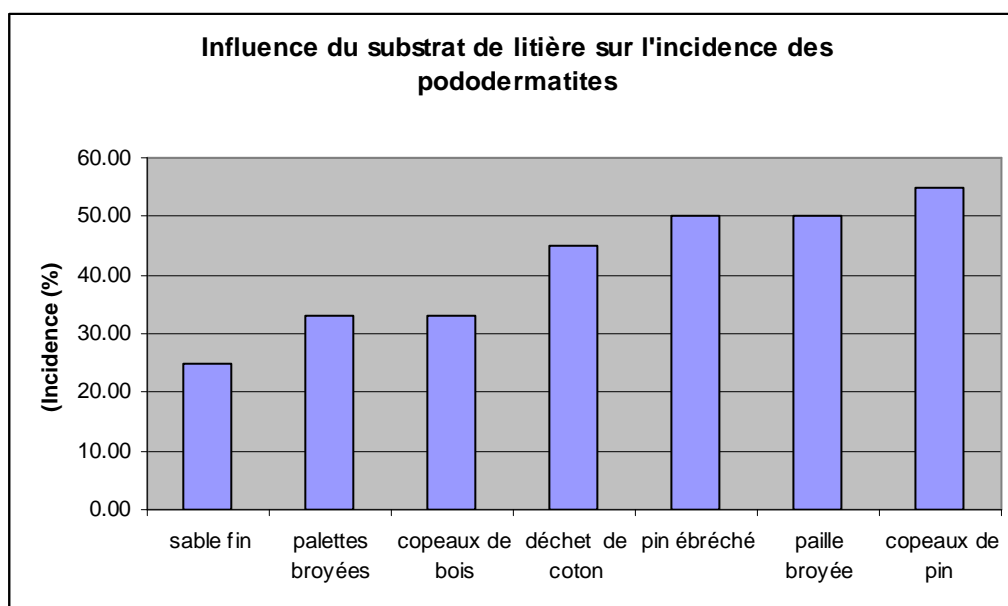


Figure 3. Effet du substrat de la litière sur l'incidence des pododermatites. (d'après Meluzzi et al., 2008; Bilgili et al., 2009).

Bruce et al., 1990) n'ont pas pu montrer un effet du type de litière (copeaux de bois vs paille de blé) sur l'incidence des dermatites de contact.

#### Sévérité :

De façon cohérente avec les données d'incidence, Su et al. (2000) ont montré que les poulets de chair élevés sur la paille de blé avaient une moyenne de score de pododermatites 64% plus élevée que ceux élevés sur copeaux de pin et 35% plus élevée que ceux élevés sur les coproduits séchés de chanvre. En revanche, Bilgili et al. (2009) ont trouvé des différences significatives entre les substrats qu'ils ont étudiés, à savoir, copeaux de pin, écorces de pin, pin ébréché, sable fin, palettes broyées, paille broyée, déchet d'égreneuse de coton mais pas davantage aux copeaux par rapport à la paille (Figure 3). Enfin, les litières à broyage très fin (sable ou sciure) diminuent la sévérité (Bilgili et al., 2009; Mendes et al., 2011).

#### 2.5.1.3. L'épaisseur de la litière :

Outre la matière première utilisée pour la litière, son épaisseur contribue à la prédisposition des animaux aux pododermatites (Shepherd et Fairchild, 2010) mais là encore les résultats des différentes études ne sont pas parfaitement cohérents. En effet, les poulets élevés sur une litière d'une épaisseur inférieure à 5 cm avaient une moindre incidence de pododermatites que ceux élevés sur une litière d'une épaisseur supérieure à 5 cm (Ekstrand et al., 1998). Lorsque la litière est épaisse, les animaux peuvent moins la piquer, la gratter et la retourner. Elle est donc moins ventilée ce qui la rend plus humide (Abd El-Wahab, 2011). En revanche, Meluzzi et al. (2008) ont conclu que l'incidence des pododermatites peut être réduite chez les poulets de chair en rajoutant plus de litière (3 vs 2.3 kg/m<sup>2</sup> et 4.5 vs 3 kg/m<sup>2</sup> de paille de blé et de copeaux de bois respectivement), cependant, ils n'ont pas pu attribuer cette baisse d'incidence (-18%) à la quantité de litière seule dans la mesure où leur design expérimental confondait d'autres facteurs tels que la photopériode et la densité d'élevage.

## 2.5.2. Facteurs nutritionnels :

### 2.5.2.1. Les protéines :

L'incidence des pododermatites augmente avec la teneur en protéine brute de l'aliment. Ainsi, Jensen et al. (1970) ont montré une incidence passant de 0 à 70% pour un taux d'incorporation de tourteau de soja variant de 10 à 54% dans l'aliment de dinde en cage comparables aux résultats obtenus sur litière variant de 0 à 76.9% pour un taux d'incorporation du tourteau variant de 10 à 54%.

Berg. (1998) a confirmé cette relation avec une augmentation de 23% de l'incidence des pododermatites en augmentant le taux protéique d'un point et demi (de 32.5 à 25%). La teneur en protéine affecte également la sévérité des pododermatites. Nagaraj. (2006) a ainsi montré une augmentation significative de sévérité (score de 21 vs 10) avec la teneur en protéine (20.2 vs 16.4%). Cela peut s'expliquer par le fait que les teneurs élevées de protéine dans l'aliment aboutissent à l'excrétion de plus d'azote dans les fèces ce qui augmente la teneur de la litière en azote et par conséquent augmente l'émission d'ammoniac (Nagaraj, 2006) qui va exercer son effet irritant au niveau des surfaces plantaires et prédisposer les animaux aux pododermatites.

Les PNA sont des hydrates de carbone indigestibles qui se trouvent dans le tourteau de soja et d'autres matières premières utilisées dans les aliments de volailles comme les céréales (blé, orge) (Shepherd et Fairchild, 2010). Les PNA n'étant pas sensibles aux enzymes endogènes du tube digestif du poulet (Jensen et al., 1970), elles sont mal digérées et rendent en conséquence les fèces plus visqueuses et irritantes pour les surfaces plantaires et augmentent ainsi l'incidence des pododermatites. De plus, le tourteau de soja contient plus de 20 g de potassium /kg de matière sèches. Or, les teneurs élevées en potassium augmentent la consommation et par conséquent les rejets d'eau et l'humidité dans la litière (Abd El-Wahab, 2011). De ce fait l'incidence des pododermatites est plus élevée lorsque la source de protéines est uniquement végétale que lorsqu'elle consiste en un mélange de tourteau et de coproduits de volailles (Nagaraj, 2006). Les effets négatifs des PNA peuvent être inversés par l'utilisation d'enzymes exogènes comme les xylanases qui peuvent réduire la viscosité intestinale et améliorer la digestibilité de l'amidon, de la protéine, des lipides et de l'énergie métabolisable apparente des aliments de poulet contenant du blé (Alam et al., 2003).

Même si l'augmentation du taux protéique augmente la fréquence de pododermatites, on ne peut pas se contenter de le réduire pour diminuer l'incidence des pododermatites. En effet, lorsque les animaux sont carencés en méthionine, l'incidence des pododermatites est de 37% alors que l'ajout de DL-méthionine empêche leur apparition (Chavez et Kratzer, 1972, 1974; Murillo et Jensen, 1976). Ces auteurs ont montré que l'addition de 0.1% ou de 0.2% de DL-méthionine, en plus du besoin (0.43%), à un aliment à base de maïs et de soja réduisait significativement l'incidence et la sévérité des pododermatites à l'âge de 2 semaines (- 42 % d'incidence et + 0.8 de sévérité, - 57 % d'incidence et -1.1 de sévérité pour +0.1% et + 0.2% de méthionine respectivement) et de 4 semaines (- 18% d'incidence et -0.3 de sévérité, -15% d'incidence et -0.3 de sévérité pour +0.1% et 0.2% de méthionine respectivement) chez la dinde élevée sur litière.

### 2.5.2.2. Les lipides (la densité de l'aliment) :

Bilgili et al. (2006) ont montré que la teneur et la source de lipides affectaient les pododermatites. Des teneurs inférieures à 2.15% sont associées à une moindre fréquence de pododermatites (35%) qu'une teneur supérieure à 3.67%. Les teneurs élevées en lipides entraînent plus d'excrétion de lipides dans les fèces et rendent celles-ci plus gluantes. Dans ce cas-là, les fèces vont non seulement augmenter l'humidité de la litière mais aussi se coller plus fortement aux surfaces plantaires et les irriter induisant ainsi les pododermatites (Mirza,

2011). Cet effet est renforcé lorsque les lipides sont peu digestibles. Les animaux nourris avec un aliment contenant des lipides d'origine animale (acides gras saturés) ont une consommation d'eau plus importante que ceux nourris avec un aliment contenant des lipides d'origine végétale (acides gras insaturés).

De même que pour les acides aminés, carencer les animaux en certains acides gras essentiels (indispensables) tels que l'acide linoléique, augmente l'incidence (47 vs 63%) et la sévérité (0.7 vs 1.2) des pododermatites chez la dinde. A l'opposé, l'addition de 2% d'huile de maïs riche en acide linoléique réduit l'incidence des pododermatites (-28% à -35% d'incidence et -0.4 à -0.9 de sévérité) à l'âge de 2 et 4 semaines respectivement (Murillo et Jensen, 1976).

### **2.5.2.3. Les vitamines :**

La biotine est un co-facteur de plusieurs enzymes de carboxylation indispensables au métabolisme des hydrates de carbone et de lipides ainsi qu'à la synthèse de protéines. Son rôle dans l'incidence des pododermatites est très controversé.

En effet, les études de McGinnis et Carver. (1947), de Jensen et al. (1970) et de Chavez et Kartzner. (1974) ont conclu à l'absence de lien entre la biotine et les pododermatites. En revanche, Marusich et al. (1970) ont montré une réduction de 98 % des pododermatites en augmentant le taux de biotine dans l'aliment de 100 à 225 µg/kg d'aliment.

Cette apparente contradiction pourrait être due au fait que plusieurs facteurs doivent agir ensemble pour qu'un effet soit visible sur les pododermatites. Par exemple, un niveau élevé de biotine (2000 µg/kg) réduit la sévérité des pododermatites sur litière sèche mais pas sur litière humide (Mayne et al., 2007; Youssef, 2011).

La riboflavine peut également prévenir les pododermatites chez la dinde seule ou associée à la biotine. Ces résultats ont également été retrouvés avec des ingrédients naturellement riches en riboflavine comme la luzerne déshydratée (McGinnis et Carver, 1947).

### **2.5.2.4. Les minéraux :**

Les minéraux ont un effet très important sur la consommation d'eau chez les volailles et par conséquent sur la qualité de la litière. En effet, les teneurs élevées en sodium ou en potassium dans l'aliment augmentent cette consommation et l'humidité de l'excréta de façon linéaire (Smith et al., 2000). Par exemple, une augmentation de 5 g/kg de la teneur en Na augmente la consommation d'eau chez la poule de 50% et le poids de l'excréta de 50%. Cela peut donc indirectement influencer l'incidence des pododermatites.

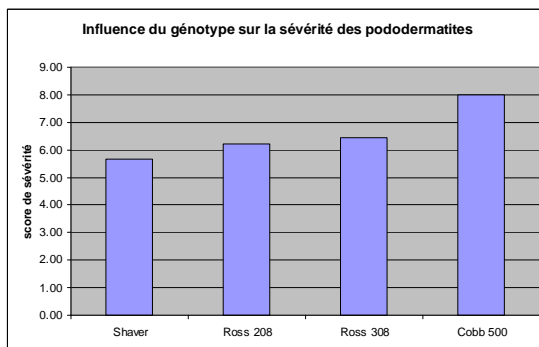


Figure 4. Effet du génotype sur la sévérité des pododermatites.

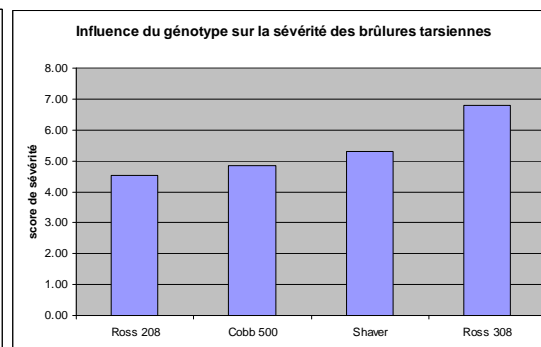


Figure 5. Effet du génotype sur la sévérité des brûlures tarsiennes.

Tableau 1. Héritabilité et corrélation génétique des pododermatites.

Affection	Héritabilité	Corrélations génétiques			Référence
		Poids vif	Pododermatites	Brûlures tarsiennes	
Pododermatites	$0.31 \pm 0.12$	$-0.08 \pm 0.26$	-	$-0.40 \pm 0.49$	Kjaer et al., 2006
	0.34	-	-	-	Akbas et al., 2008
	$0.21 \pm 0.03$	$-0.51 \pm 0.12$	-	-0.04	Ask, 2010
	$0.18 \pm 0.006$ à $0.24 \pm 0.009$	-0.05	-	-	Kapell et al., 2012
Brûlures tarsiennes	$0.08 \pm 0.08$	$0.44 \pm 0.42$	$0.14 \pm 0.05$	-	Kjaer et al., 2006
	0.17	-	-	-	Akbas et al., 2008
	$0.10 \pm 0.03$	$0.14 \pm 0.16$	$-0.07 \pm 0.16$	-	Ask, 2010

### 2.5.3. Facteurs génétiques :

#### Le génotype (la souche) :

La génétique est un des facteurs qui influencent significativement l'incidence et la sévérité des pododermatites (Shepherd et Fairchild, 2010). En effet, des différences significatives entre différentes souches commerciales, en termes de susceptibilité, d'incidence et de sévérité, ont déjà été observées (Ekstrand et al., 1998; Haslam et al., 2006; Haslam et al., 2007; Allain et al., 2009; Kestin et al., 1999).

Ainsi, dans ces différentes études, la fréquence des pododermatites variait de 15.23% à 58% selon le génotype (Figure 4). Les scores de sévérité montrent également une variabilité de 42% à 56% selon le génotype. Cette différence de sévérité est également importante pour les brûlures tarsiennes dont le score varie de 50% selon le génotype (Figure 5).

La vitesse de croissance a aussi un impact significatif sur l'incidence des pododermatites. En comparant une souche à croissance rapide à une autre à croissance lente, Kjaer et al. (2006) ont constaté l'absence de lésions de pododermatites et la présence d'un petit nombre de lésions modérées de brûlures tarsiennes chez la souche à croissance lente. Par contre, chez la souche à croissance rapide et à l'âge de 6 semaines, une incidence de près de 40% et de 90% pour les pododermatites et les brûlures tarsiennes respectivement a été trouvée. La vitesse de croissance est aussi associée à la sévérité des pododermatites. Allain et al. (2009) ont montré un lien positif entre l'incidence de la forme la plus sévère des pododermatites (scores 7,8 et 9) et la vitesse de croissance avec une incidence plus élevée dans la souche à croissance rapide que dans celle à croissance lente (74.5 et 51.3).

Les différences d'incidence des dermatites de contact entre génotypes pourraient être liées à l'activité physique et à la qualité et à la santé des aplombs. Les animaux les plus légers et ceux ayant des pattes plus saines passent plus de temps debout et à marcher et moins de temps couchés en contact avec la litière ce qui limite l'incidence de dermatites de contact chez eux (Haslam et al., 2007). De plus, chez les animaux lourds, la pression appliquée sur les coussinets plantaires est plus forte ce qui entraîne l'augmentation de la surface en contact avec la litière et l'incidence des pododermatites (Youssef, 2011). Cette différence de poids peut également être impliquée dans les plus grandes susceptibilités des mâles, même si cela est controversée (McIlroy et al., 1987 ; Bruce et al., 1990; Bilgili et al., 2006). Au-delà de cette différence de poids, la peau des femelles est moins résistante parce qu'elle contient plus de lipides et moins de protéines et de collagène et donc plus facile à blesser (Nagaraj, 2006).

#### Paramètres génétiques :

L'héritabilité de ces troubles est faible à modérée et varie de 0.18 à 0.34 pour les pododermatites et de 0.08 à 0.10 pour les brûlures tarsiennes (Kjaer et al., 2006; Akbas et al., 2008; Ask, 2010; Kapell et al., 2012) (tableau 1). Cela indique que dans certaines souches, sélectionner contre ces problèmes serait possible. En revanche, la corrélation entre poids et pododermatites est variable selon les études, de -0.51 à -0.05 (Kjaer et al., 2006; Ask, 2010; Kapell et al., 2012). De plus, la corrélation génétique entre les deux affections variant de -0.40 à -0.02 (Kjaer et al., 2006; Ask, 2010) ce qui implique que ces deux caractères ont un contrôle génétique différent.

Ask. (2010) et Kapell et al. (2012) ont mis en évidence l'existence d'interactions entre génotype et environnement pour l'incidence des pododermatites. Ces auteurs ont comparé quatre lignées de poulets de chair élevées dans un environnement hautement bio-sécurisé «P» ou environnement non bio-sécurisé «S». L'incidence des pododermatites variait de 14 à 37% et de 45 à 79% dans l'environnement P et l'environnement S respectivement. Une forte corrélation génétique existe entre l'incidence des pododermatites dans les deux

environnements (entre 0.78 et 0.82) ce qui indique que la réduction de l'incidence des pododermatites par la sélection génétique dans l'environnement hautement bio-sécurisé permettrait la réduction de cette incidence dans l'environnement de production non bio-sécurisé.

#### **2.5.4. Les systèmes d'élevage alternatifs :**

Broom et Reefmann, (2005) ont trouvé des différences hautement significatives entre l'élevage standard et l'élevage en agriculture biologique. Ce dernier mode d'élevage présentant moins de lésions de brûlures tarsiennes de taille plus petite. Cet effet serait un cumul des effets d'une moindre densité, de l'accès à une litière plus sèche et de pattes plus fortes en élevage biologique qu'en élevage standard.

En ce qui concerne les pododermatites, en revanche, Pagazaurtundua et Warriss, (2006) ont trouvé des résultats opposés à ceux de Broom et Reefmann, (2005) sur les brûlures tarsiennes. En comparant les systèmes d'élevage (élevage standard intensif, en plein air, biologique), ils ont conclu que les animaux ayant accès à un parcours extérieur avaient une prévalence plus importante que ceux élevés en claustration, avec une prévalence variant de 9.6% à 98.1%. Les animaux ayant accès à un parcours extérieur seraient exposés à plus de blessures de pattes (surtout au niveau des surfaces plantaires) induites par les objets pointus et tranchants qui se trouveraient sur le parcours. De plus, l'abattage tardif des animaux en élevage biologique et en plein air (à l'âge de 9 semaines) par rapport à ceux élevés en claustration (abattage à l'âge de 5 à 6 semaines) laisse plus de temps aux lésions pour se développer et à la prévalence d'augmenter.

L'intensification de l'élevage, dans le système d'élevage en claustration, joue un rôle très important concernant l'incidence et la sévérité des pododermatites. Dans une étude réalisée en Italie, Meluzzi et al. (2008) ont trouvé que l'élevage moins intensif (densité : 11 poulets/m<sup>2</sup>, litière : 4.5 kg/m<sup>2</sup> de copeaux de bois, lumière : 16h de jour et 8h d'obscurité) réduisait l'incidence et la sévérité des pododermatites en comparaison à un élevage plus intensif (densité : 14 poulets/m<sup>2</sup>, litière : 3 kg/m<sup>2</sup>, lumière : 23h de jour et 1h d'obscurité). Dans cette étude, les auteurs ont attribué la réduction d'incidence et de sévérité des pododermatites à l'effet combiné des trois critères étudiés ensemble.





Tableau 2: Traitements expérimentaux et effectif.

Lignée	Régime	Lot 1	Lot 2
D -	Blé	113	140
D -	Maïs	111	114
D+	Blé	109	72
D+	Maïs	109	78

Tableau 3: la composition chimique et les caractéristiques nutritionnelles des aliments utilisés.

Type d'aliment*	DM	DA	CMT1	CAT1	CM2	CA2	CMT2	CAT2
Période de distribution	De 0 à 14 jours		De 15 à 23 jours		De 24 à 48 jours		De 49 à 54 jours	
Composition (%)								
Maïs	61.050	-	68.684	-	69.134	-	68.634	-
Blé Rialto	-	53.610	-	62.090	-	62.540	-	62.040
Tournesol pailleux	-	5.000	-	6.000	-	6.000	-	6.000
Huile de soja	0.860	4.000	2.436	4.000	2.436	4.000	2.436	4.000
Huile de palme	-	2.000	-	2.000	-	2.000	-	2.000
Tourteau de soja 48	33.870	24.120	24.000	12.290	24.000	12.290	24.000	12.290
Tourteau de colza normal	-	6.000	-	6.000	-	6.000	-	6.000
Gluten de maïs 60	-	1.300	-	3.760	-	3.760	-	3.760
Carbonate de calcium	0.890	0.950	0.770	0.930	0.770	0.930	0.770	0.930
Phosphate bicalcique	2.060	1.600	1.800	1.270	1.800	1.270	1.800	1.270
Sel	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Premix oligo-vitamines	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
DL Méthionine	0.290	0.255	0.390	0.080	0.390	0.080	0.390	0.080
HCL Lysine	0.140	0.275	0.110	0.270	0.110	0.270	0.110	0.270
Thréonine	0.040	0.090	0.170	0.010	0.170	0.010	0.170	0.010
Tryptophane	-	-	0.340	-	0.340	-	0.340	-
Dioxyde de titane	-	-	0.500	0.500	-	-	0.500	0.500
Anticoccidien (maxiban)	-	-			0.050	0.050	0.050	0.050
Caractéristiques nutritionnelles								
EM (kcal/kg)	2900.000	2900.000	3000.000	3000.000	3000.000	3000.000	3000.000	3000.000
MAT (k/kg)	210.050	210.000	180.060	179.990	180.060	179.990	180.060	179.990
Lysine (g/kg)	12.090	12.190	9.530	9.470	9.530	9.470	9.530	9.470
Méthionine (g/kg)	5.940	5.670	6.680	3.760	6.680	3.760	6.680	3.760
Méthionine + Cystine (g/kg)	9.080	9.180	9.780	7.030	9.780	7.030	9.780	7.030
Tryptophane (g/kg)	2.490	2.640	2.210	2.120	2.210	2.120	2.210	2.120
Thréonine (g/kg)	8.190	8.250	8.320	6.210	8.320	6.210	8.320	6.210
Calcium (g/kg)	9.990	9.980	8.980	9.020	8.980	9.020	8.980	9.020
Phosphore disponible (g/kg)	4.190	4.190	3.680	3.700	3.680	3.700	3.680	3.700

\*DM et DA: démarrage maïs et alternatif, CMT1 et CAT1 : croissance 1 maïs et alternatif contenant du dioxyde de titane, CM2 et CA2, croissance 2 maïs et alternatif sans dioxyde de titane, CMT2 et CAT2 : croissance 2 maïs et alternatif contenant du dioxyde de titane.

Figure 6. Chaque parquet est équipé d'une mangeoire suspendue à l'aide d'une chaîne métallique et d'une ligne de pipettes et aménagé avec de la paille de blé comme litière.



## **Partie II : Expérience.**

### **Chapitre 1 : Matériels et méthodes :**

#### **1.1. Animaux :**

Les animaux utilisés étaient issus d'une expérience de sélection divergente pour une faible (D-) ou forte (D+) efficacité digestive, évaluée par l'énergie métabolisable. Après 8 générations de sélection, les lignées ont été maintenues sans sélection supplémentaire sur l'efficacité digestive. Deux lots de poulets de chair issus de la 11<sup>ème</sup> génération éclos en mars et mai 2012 ont été élevés selon le même protocole expérimental (N = 218 D+ et 224 D- pour le 1<sup>er</sup> lot, N= 150 D+ et 254 D- pour le 2<sup>ème</sup>). Ces lignées se caractérisent par une croissance intermédiaire (poids vif entre 2.2 et 2.6 kg à 63 jours) pour une production de poulets certifiés et par une peau et des pattes blanches.

A l'éclosion, les poussins ont été individuellement bagués à l'aile, pesés, vaccinés contre la maladie de Newcastle, de Marek et la bronchite infectieuse, et ensuite, alloués à 4 différents traitements expérimentaux lignée × régime: D+ nourris avec un aliment à base de maïs facile à digérer, D+ nourris avec un aliment à base de blé difficile à digérer, D- nourris avec un aliment à base de maïs facile à digérer et D- nourris avec un aliment à base de blé difficile à digérer.

Compte tenu des différences de taux d'éclosion entre souches et répétitions, les effectifs n'ont pu être complètement équilibrés entre répétitions (tableau 2). Le sexage pour le deuxième lot a eu lieu au couvoir alors que pour le premier, il a eu lieu à l'abattoir.

A la mise en place des animaux, 5 kg de paille de blé hachée a été installée par parquet (figure 6), ce support de litière augmentant les risques d'apparition des dermatites de contact (Su et al., 2000) afin de mieux identifier les animaux résistants ou sensibles même en conditions difficiles.

Suite à une mortalité précoce élevée chez les D-, la surface des parquets a été réduite afin de maintenir une densité comparable entre les différents traitements à 3 semaines.

#### **1.2. Aliments :**

Les aliments expérimentaux ont été distribués aux animaux dès l'éclosion. Un aliment de démarrage a été distribué de 0 à 14 jours suivi d'un aliment de croissance de 14 jours à l'abattage. Le tableau 3 montre la composition de ces différents aliments et leurs caractéristiques nutritionnelles. L'aliment facile à digérer était un aliment classique à base de maïs et de tourteau de soja. L'aliment alternatif, difficile à digérer, contenait une part importante de blé Rialto particulièrement difficile à digérer, de fibres et de coproduits de céréales et une part réduite en soja.. De 14 à 23 jours et de 49 à 54 jours, l'aliment incluait 0.5% de dioxyde de titane afin d'établir les digestibilités iléales. Avant 23 jours, les aliments ne contenaient pas d'anticoccidien afin de ne pas perturber les tests de résistance à la coccidiose à cet âge.

Les conditions de température et d'éclairage étaient similaires pour les 4 traitements et sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Température et programme lumineux.

Age des animaux	Température ambiante	Programme lumineux
1 à 3 jours	31-33°C	24L:0N (Eclairage en continu)
4 à 7 jours	31-32°C	
8 à 14 jours	28-30°C	18L:6N Eclairage de 5h à 23h
15 <sup>ème</sup> jour	28°C	
16 <sup>ème</sup> jour	27°C	
17 <sup>ème</sup> jour	26°C	
18 <sup>ème</sup> jour	25°C	
19 <sup>ème</sup> jour	24°C	
20 <sup>ème</sup> jour	23°C	
21 <sup>ème</sup> jour	22°C	
22 <sup>ème</sup> jour	21°C	
23 <sup>ème</sup> jour	20°C	
Du 24 <sup>ème</sup> au 54 <sup>ème</sup> jour	19°C	

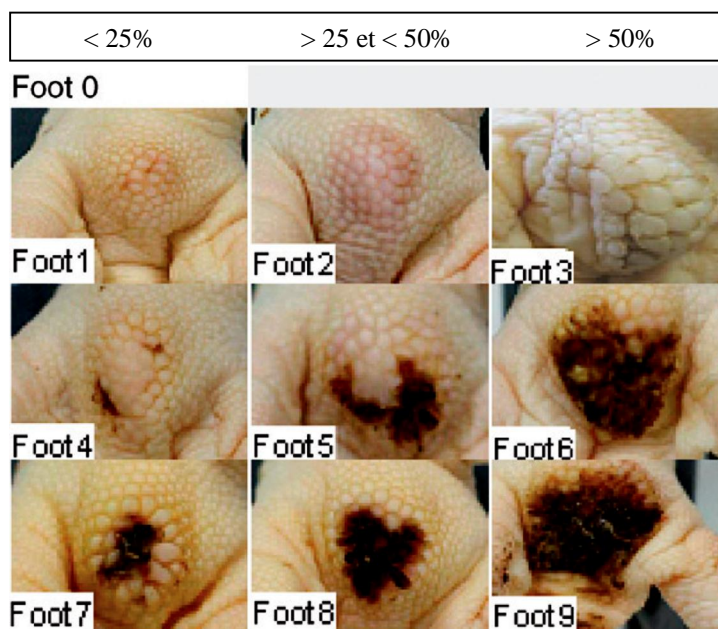


Figure 7: Grille d'évaluation des pododermatites. (Allain et al., 2009).

Tableau 5: Grille d'évaluation des brûlures tarsiennes d'après Allain et al. (2009).

Lésion observée	Surface atteinte		
	< 25%	> 25% et < 50%	> 50%
Pas de lésion	Tarse 0		
Lésion brune	Tarse 4	Tarse 5	Tarse 6
Lésion noire	Tarse 7	Tarse 8	Tarse 9

### **1.3. Les mesures réalisées :**

#### **1.3.1. Performances zootechniques :**

Les animaux ont été pesés individuellement de façon hebdomadaire de l'éclosion à l'abattage. En raison de la fréquence des mesures, ils n'ont pas été mis à jeun. La mortalité et la consommation alimentaire ont été enregistrées après chaque pesée séparément pour chaque parquet. Ensuite, l'indice de consommation (IC) et le gain moyen quotidien (GMQ) ont été calculés.

A 8 semaines, les animaux ont été abattus et découpés. Ont ainsi été mesurés le pourcentage de filet, de gras abdominal, de gésier, de proventricule et d'intestin. La qualité de la viande a été évaluée par le pH et la couleur du filet à 24h post-mortem. Le pH ultime a été mesuré par l'insertion directe d'une électrode de mesure de pH dans les muscles pectoraux alors que la mesure de couleur a été réalisée à l'aide d'un Miniscan Spectrocolorimètre (Hunterlab, Reston, VA, USA) selon le système trichromatique CIELAB comportant les valeurs de la luminosité ( $L^*$ ), de l'intensité du rouge ( $a^*$ ) et du jaune ( $b^*$ ).

#### **1.3.2. Comportement et bien-être animal :**

Le comportement des animaux durant les deux expériences a été enregistré à 1, 3, 5 et 7 semaines. Le protocole expérimental comprenait deux étapes : un **scan sampling** et un **focal sampling**. Le scan sampling consiste à compter le nombre d'animaux de chaque parquet qui boivent, mangent, marchent, sont debout ou couchés à un instant donné. Pour le focal sampling deux animaux par parquet étaient observés durant cinq minutes par animal. Les comportements suivants ont été enregistrés : piquer ou gratter l'abreuvoir, la litière ou la mangeoire du parquet, donner un coup de bec doux ou fort aux autres animaux, se nettoyer, boire, manger, se coucher. A chaque âge, le scan sampling était répété quatre fois par parquet et le focal sampling deux fois par parquet.

Le bien-être animal a également été évalué en observant et en enregistrant l'incidence des dermatites de contact (les pododermatites, les brûlures tarsiennes et les ampoules du bréchet) individuellement pour chaque animal à 1, 3 et 8 semaines. La grille d'évaluation des pododermatites élaborée par Allain et al. (2009) a été utilisée. Cette grille comprend 10 niveaux de gravité, selon la sévérité de l'affection et selon la surface atteinte (figure 7).

Sur cette échelle un score de 0 signifie l'absence de lésions et un score entre 1 et 3 signifie la présence de kératose, de papilles mais pas de décoloration alors qu'un score entre 4 et 6 signifie la présence de décoloration brune accompagnée par une érosion. Enfin, un score entre 7 et 9 signifie la présence d'une décoloration noire avec des lésions profondes et un épiderme fissuré.

L'échelle utilisée pour évaluer les brûlures tarsiennes, prenait également en compte la sévérité de l'affection et la surface atteinte mais ne comprenait que sept niveaux (tableau 5).

#### **1.3.3. La qualité de l'air et de la litière :**

Le volet environnemental des mesures reposait sur une étude de la qualité de la litière et de la qualité de l'air, ces deux variables ayant une influence sur l'incidence des dermatites de contact (Martland, 1984, 1985; Mayne, 2005; Mayne et al., 2007; Shepherd et Fairchil, 2010). La qualité de la litière a été évaluée par sa température (mesurée en surface et en profondeur sous les mangeoires, les abreuvoirs et la zone de repos par un thermomètre à sonde), par son taux d'humidité et par sa composition chimique (matière sèche, azote total, azote ammoniacal, phosphore et pH) réalisées sur des échantillons de litière prélevés par carottage en surface et en profondeur sous les mangeoires, les abreuvoirs et la zone de repos. Ces mesures ont été



réalisées à 1, 3 et 8 semaines, âges auxquels les fréquences d'apparition des pododermatites sont les plus élevées.



Figure 8. L'analyseur de gaz en fonctionnement.

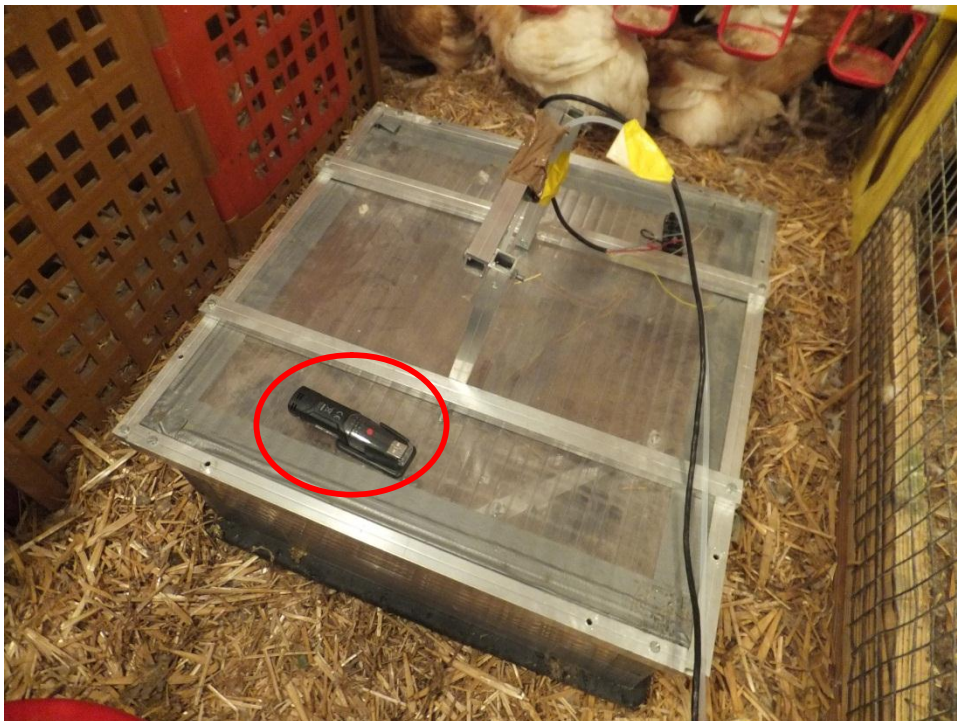


Figure 9. La chambre de mesure des concentrations gazeuses placée dans un des parquets. Le cercle rouge entoure la sonde hygrothermique extérieure.

Afin d'évaluer la **qualité de l'air**, un analyseur de gaz (figures 8 et 9) a été utilisé (INNOVA 1302, Air Tech Instruments, Ballerup, Danemark). Cet appareil mesure les concentrations de carbone dioxyde (CO<sub>2</sub>), de protoxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>). En moyenne, une vingtaine de mesures (sur un intervalle de 30 minutes) a été faite par parquet. De plus, l'humidité relative de l'air a été mesurée à l'aide de 2 thermohygromètres (Votcraft DL-121TH, Conrad Electronic, Hirschau, Allemagne). Ces mesures ont été réalisées en même temps que celles de la qualité de litière.

#### 1.3.4. Mesure du statut immunitaire des animaux :

A l'âge de 3 semaines, un prélèvement sanguin a été effectué sur 10 animaux par lignée pour les animaux nourris avec le régime alternatif (dans la 1<sup>ère</sup> expérience) et pour les animaux nourris avec le régime standard (dans la 2<sup>ème</sup> expérience), pour étudier la formule sanguine. Ensuite, le jéjunum, l'iléum, le caeca, les tonsilles de caecales, la rate et le poumon ont été prélevés pour l'analyse de gènes spécifiques de l'immunité. A ce même âge, 100 animaux ont été prélevés pour les tests de résistance à la coccidiose (50 animaux représentant les 4 traitements) et à la colibacillose (50 animaux représentant les 4 traitements).

#### 1.3.5. Digestibilité et qualité de l'os :

Les digestibilités iléales apparentes du phosphore, du calcium, de l'azote et de l'énergie métabolisable ont été déterminées à 3 et 8 semaines sur un échantillon de 40 animaux (10 animaux par traitement expérimental).

La minéralisation du tibia des animaux abattus à 8 semaines a été mesurée à partir du poids sec, du taux de cendres du tibia, obtenus après séchage à 100 °C pendant 12h et réduction en cendres à 550 °C pendant 12h dans un four à moufles.

### 1.4. Analyses statistiques :

L'analyse des données a été effectuée avec le logiciel SAS (SAS institute Inc., 2004). Pour les données ne suivant pas une loi normale à savoir : la mortalité, le comportement et les dermatites de contact, la procédure non paramétrique NPARIWAY a été utilisée. En revanche, la procédure du modèle linéaire généralisé GLM a été utilisée afin d'effectuer une analyse de variance sur les données de croissance, de consommation alimentaire, d'indice de consommation, de qualité de la viande, de composition corporelle, d'anatomie, de qualité de la litière, de qualité de l'air et la production de rejets qui avaient toutes une distribution normale. La procédure non paramétrique ne permettant pas les comparaisons multiples simultanées de plus de plusieurs variables, les comparaisons deux à deux des traitements expérimentaux ont été effectuées en appliquant une correction du seuil de probabilité critique en fonction du nombre de comparaisons.

#### Les modèles suivants ont été utilisés :

Pour l'analyse des données de poids vif :

A la naissance :

$$y_{ij} = \mu + L_i + S_j + e_{ij}$$

A partir de la 1<sup>ère</sup> et jusqu'à la 8<sup>ème</sup> semaine :

$$y_{ijmn} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + H_m + S_n + e_{ijmn}$$

Pour l'analyse des données de consommation alimentaire et celles de l'IC:

$$y_{ijklm} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + C_k + F_l + H_m + e_{ijklm}$$

Pour l'analyse de la qualité de viande (pH, L\*, a\* et b\*) et de la composition corporelle (rendement de filet, de gras abdominal de gésier, de proventricule et d'intestin) :

$$y_{ijkl} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + H_k + S_l + e_{ijkl}$$

Pour l'analyse des données de production de rejets :

$$y_{ijklm} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + C_k + F_l + H_m + e_{ijklm}$$

Pour l'analyse des données de la température de la litière:

$$y_{ijklmn} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + C_k + F_l + H_m + W_n + LW_{in} + e_{ijklmn}$$

Pour l'analyse des données de l'humidité de la litière :

$$y_{ijkl} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + P_k + N_l + e_{ijkl}$$

Pour l'analyse des données de l'azote ammoniacal:

$$y_{ijk} = \mu + L_i + R_j + LR_{ij} + H_k + e_{ijk}$$

Où  $y_{ij}$  est la variable analysée (le poids vif, la consommation, l'IC, le pH de la viande, etc)

$\mu$  est la moyenne générale,  $L$  est l'effet de la lignée (D+, D-),  $S$  et est l'effet du sexe,  $R$  est l'effet du régime (Maïs, Blé),  $LR$  est l'interaction entre lignée et régime,  $H$  est l'effet du lot (lot 1, lot 2),  $C$  et  $F$  sont deux variables introduites dans les modèles pour tenir compte des variations de température entre les différents côtés de la cellule expérimentale ( $C$  : côté droite, côté gauche et  $F$  : côté porte, côté fond),  $W$  est l'effet de la semaine,  $LW$  l'effet de l'interaction entre la lignée et la semaine,  $P$  est l'effet de la profondeur (surface et fond),  $N$  est un covariate représentant le nombre cumulatif des animaux par parquet et  $e$  représente les résidus du modèle.

Enfin, afin de mettre en relation les différents indicateurs les uns avec les autres, nous avons réalisé une analyse en correspondances multiples à l'aide du logiciel SPAD (Lebart et al., 1999). Les différentes variables ayant été mesurées soit au niveau de l'individu, soit au niveau du groupe, nous avons travaillé sur les moyennes de chaque variable par parquet. Toutes les variables n'ont pas été incluses dans l'analyse pour éviter un déséquilibre entre groupes de variables. Ainsi, seuls les poids et consommations alimentaires enregistrés aux mêmes âges que le comportement et les pododermatites ont été conservés. De plus, certaines mesures n'ont pas été incluses dans l'analyse car trop peu variables entre les différents groupes. Ainsi, les brûlures du tarse, les ampoules au bréchet et la concentration en azote ammoniacal de la litière à 1 semaine ont été exclus. Au final, ont été incluses dans l'analyse :

- *caractères relevant du pilier social* : mortalité pendant la 2<sup>ème</sup> semaine (M2), mortalité cumulée pendant les 8 semaines (MCUM8), proportion d'animaux en train de boire, manger, marcher, être debout, être couchés en semaines 1, 3 et 8 (BOIT1, BOIT3, BOIT8, MANG1, MANG3, MANG8, MARC1, MARC3, MARC8, DEBO1, DEBO3, DEBO8, COUC1, COUC3, COUC8), score moyen de pododermatites à 1 et 3 semaines (PODO1, PODO3).

- *caractères relevant du pilier environnemental* : température moyenne de la litière, toutes zones et profondeurs confondues à 1, 3 et 8 semaines (TEMP1, TEMP3, TEMP8), humidité moyenne de la litière, toutes zones et profondeurs confondues à 1, 3 et 8 semaines (HUM1, HUM3, HUM8), quantité totale de rejets produite rapportée à la quantité de viande produite (REJETS), quantité d'azote ammoniacal de la litière, toutes zones et profondeurs confondues à 1, 3 et 8 semaines (AMM1, AMM3, AMM8)

- *caractères relevant du pilier économique* : poids vif à l'éclosion (PV0), à 1, 3, et 8 semaines (PV7, PV21, PV54), gain de poids relatif pendant la 1<sup>ère</sup> semaine (GP1=(PV7-PV0)/PV0), consommation alimentaire à 1, 3 et 8 semaines (CONS7, CONS21, CONS54), indice de consommation global (IC), poids relatif du filet (FILET), du gras abdominal (GRAS), du gésier (GESIER), du proventricule (PROV), de l'intestin (INT), ratio du poids du gésier et du



proventricule sur le poids de l'intestin (GP/I), Couleur du filet (L, a\*, b\*), pH ultime du filet (pH)

Les variables ont ensuite été découpées en 2 catégories (faible, forte), en recherchant un équilibre de fréquence entre les 2 catégories. Le suffixe « C » a été ajouté aux variables ainsi découpées en classes.

Pour faciliter l'interprétation visuelle des graphes de l'ACM, seules les catégories ayant le plus contribué aux axes des graphiques ont été conservées sur les graphiques soit 50% des catégories. La taille des points représentant les catégories est proportionnelle à leur contribution au plan factoriel. Plus la taille du point est grande, plus cette catégorie contribue à expliquer la variabilité des points sur ce plan.

La combinaison lignée-régime (LIGREG) a été projetée sur les graphiques, mais n'a pas participé à la construction des axes. La taille des points représentant cette variable est proportionnelle au  $\cos^2$  de leur angle de projection sur le plan. Plus la taille du point est grande, mieux cette catégorie est représentée par le plan.

**N.B :** à l'heure où la rédaction de ce rapport a été complétée, certaines analyses étaient encore en cours de réalisation. Par conséquent, les résultats de ces analyses n'ont pas pu être intégrés dans ce rapport (Tableau 6).

Tableau 6. Les analyses faites dans le cadre du projet CARNOT.

Critères économiques	Critères environnementaux	Critères sociaux
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Croissance.</li> <li>• Consommation.</li> <li>• IC</li> <li>• Digestibilité et qualité de l'os.</li> <li>• Rendement de carcasse.</li> <li>• Qualité de la viande.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production de rejets.</li> <li>• Humidité de la litière.</li> <li>• pH de la litière.</li> <li>• Azote total de la litière.</li> <li>• Azote ammoniacal de la litière.</li> <li>• Phosphore total de la litière.</li> <li>• L'émission des différents gaz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dermatitis de contact.</li> <li>• Comportement.</li> <li>• Résistance aux maladies.</li> </ul>

En vert : analyses acquises, en rouge : analyses non acquises.

## Chapitre 2 : Résultats :

### 2.1 Résultats relevant du pilier social de la durabilité : Bien-être animal et comportement

#### 2.1.1. Mortalité

Le taux de mortalité hebdomadaire ne présente aucune différence significative entre les quatre traitements expérimentaux, sauf pendant la 2<sup>ème</sup> semaine (tableau 7). A cet âge, on a observé un pic de mortalité chez les D- par rapport aux D+, sur régime maïs (+15.6%), mais plus encore sur blé (+20.2%).

Tableau 7. Le taux de mortalité hebdomadaire (%).

Âge (jours)	D+ Maïs	D+ Blé	D- Maïs	D- Blé
7	2,01	1,66	1,82	1,64
14	0,00 <sup>b</sup>	1,74 <sup>b</sup>	15,65 <sup>ab</sup>	21,94 <sup>a</sup>
21	1,39	1,48	3,07	2,69
28	0,00	0,45	1,59	0,56
35	0,00	0,00	0,00	0
42	0,00	0,00	1,09	0,73
49	1,45	0,00	1,25	2,58
54	0,00	0,00	2,41	0,00
Mortalité cumulée	5,44 <sup>b</sup>	5,84 <sup>b</sup>	23,67 <sup>a</sup>	27,34 <sup>a</sup>

Du fait de cette différence pendant la 2<sup>ème</sup> semaine, la mortalité cumulée est significativement plus élevée chez les D- que chez les D+, avec une tendance non significative à une mortalité plus élevée sur les D- nourris avec le régime alternatif.

#### 2.1.2. Dermatites de contact :

##### 2.1.2.1. Effet du régime, de la lignée et interaction régime-lignée

Le tableau 8 présente les différences de prévalence des pododermatites, ampoules au bréchet et brûlures de tarse aux différents âges. Pour les pododermatites, la prévalence d'animaux atteints augmente avec l'âge, quasiment tous les animaux étant atteints dès 3 semaines. A 7 jours, les D- sont plus affectés que les D+ (31.5% vs 21.9%, P<0.01). Cette différence est due à une prévalence plus faible chez les D+ nourris au maïs que chez les D- nourris au blé ou au maïs. A 21 et 54 jours, la prévalence est trop élevée pour permettre de faire des statistiques. Les scores de pododermatites ont donc été regroupés en catégorie A (pas ou peu atteints, scores 0, 1 ou 2) et catégorie B (modérément atteints, scores 3, 4 ou 5).

Tableau 8. Prévalence des dermatites de contact à 1, 3 et 8 semaines.

Caractère	Age (semaines)	Traitement			
		D+ RA	D+ RM	D- RA	D- RM
Pododermatites	1	18.2 <sup>a1</sup>	25.4 <sup>ab</sup>	28.0 <sup>ab</sup>	35.5 <sup>b</sup>
	3	98.0	98.8	98.8	96.7
	8	100.0	100.0	100.0	100.0
Brûlures du tarse	1	0.00	0.12	0.12	0.00
	3	0.00	0.16	0.16	0.16
	8	1.06	1.42	0.35	1.42
Ampoules du bréchet	1	0.56 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	8.73 <sup>a</sup>	0.46 <sup>b</sup>
	3	0.00	0.62	0.00	0.00
	8	8.06	1.27	1.30	3.13

<sup>1</sup> : les valeurs intra-ligne qui présentent des exposants différents sont significativement différentes ( $P < 0.05$ )

Le tableau 9 montre la fréquence de ces deux catégories. Ce découpage en deux catégories confirme la fréquence plus élevée de pododermatites à 1 semaine chez les D- que chez les D+, bien que la différence soit modérée. A cet âge, intra-souche, il n'y a pas d'effet du régime sur le score de pododermatites. A 3 semaines en revanche, une interaction entre génotype et régime est observée. Les résultats sont inversés par rapport à ceux observés à 1 semaine, puisque les D+ présentent une proportion d'animaux peu atteints plus faibles que les D-. Le régime alternatif augmente la fréquence d'animaux atteints chez les D+, mais pas chez les D-. De ce fait, les deux souches présentent une différence significative sur régime blé, mais pas sur régime maïs.

Tableau 9. Fréquence des animaux pas ou peu atteints (catégories A, scores 0-1-2) en fonction de l'âge.

		7 j.	21 j.	54 j.
D+	RA	98.9 <sup>ab</sup>	55.3 <sup>b</sup>	0.0
D+	RM	100.0 <sup>a</sup>	72.8 <sup>a</sup>	0.0
D-	RA	96.4 <sup>b</sup>	71.3 <sup>a</sup>	2.6
D-	RM	95.9 <sup>b</sup>	62.5 <sup>ab</sup>	0.0

En ce qui concerne les brûlures tarsiennes, l'incidence est très faible, quel que soit le régime, la lignée et l'âge. Aucune différence significative entre lignées, régimes ni interaction entre lignée et régime n'a pu être mise en évidence.

Le nombre d'animaux affectés par les ampoules du bréchet est également très faible, sauf pour les D- élevés sur blé à 1 semaine et les D+ élevés sur blé à 8 semaines, pour lesquels les prévalences dépassent 8%. La différence entre traitements est significative à 7 jours, les D- élevés sur blé présentant une prévalence significativement plus élevée que les 3 autres conditions. De ce fait, les deux lignées diffèrent sur ce critère sur régime blé, mais pas sur régime maïs. A 8 semaines, l'interaction n'est pas significative ( $P=0.09$ ), malgré le score plus important des D+ élevés sur blé.

### 2.1.2.2. Effet du sexe

Tableau 10. Prévalence des dermatites de contact selon l'âge et le sexe.

Caractère	Age (semaines)	Mâles	Femelles
Pododermatites (% d'animaux dans la catégorie B)	1	3.0	2.2
	3	34.5	34.5
	8	99.3	99.3
Brûlures du tarse	1	0.5	0.0
	3	0.3	0.3
	8	7.6 <sup>a</sup>	0.7 <sup>b</sup>
Ampoules du bréchet	1	2.5	2.2
	3	0.3	0.0
	8	1.4	5.2

Aucun effet du sexe n'a pu être en évidence sur les dermatites de contact (tableau 10), en dehors des brûlures du tarse, beaucoup plus fréquentes chez les femelles que chez les mâles à 8 semaines.

Le tableau 11 montre les **moyennes des scores de sévérité** pour les pododermatites à 7, 21 et 54 jours. A 7 jours, la moyenne des scores est plus importante chez les D- que chez les D+ pour les deux régimes alimentaires, ce qui est cohérent avec les incidences plus élevées chez les D-. Cette différence entre lignées disparaît après cet âge. A 21 jours, l'interaction entre régime et lignée est significative, avec un effet régime chez les D+ (+13% sur régime alternatif) mais pas chez les D-. A 54 jours, seul un effet régime est significatif, avec des scores 3% plus élevés sur régime alternatif (3.11 vs 3.02).

Tableau 11. Moyennes des moindres carrés des scores ( $\pm$  standard error) des pododermatites en fonction de l'âge, du régime et de la lignée.

Âge (jours)	Affection	D+ Blé	D+ Maïs	D- Blé	D- Maïs	Significativité de l'effet <sup>1</sup>		
						Lignée	Régime	Interaction
7	Pododermatites	0.23 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	0.28 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	0.41 $\pm$ 0.05 <sup>ab</sup>	0.51 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	***	NS	NS
21		2.36 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	2.09 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	2.02 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	2.19 $\pm$ 0.07 <sup>ab</sup>	Å	NS	***
54		3.13 $\pm$ 0.04	3.03 $\pm$ 0.04	3.09 $\pm$ 0.04	3.02 $\pm$ 0.04	NS	*	NS

1 : NS = P>0.10 ; Å = P<0.10 ; \* = P<0.05 ; \*\*\* = P<0.001

### 2.1.3. Comportement :

L'analyse des données de focal sampling n'a révélé aucune différence significative en termes de comportement des animaux dans l'étude présente, probablement du fait du très petit nombre d'observations collectées.

En ce qui concerne le scan sampling (Tableau 12), très peu de différences significatives entre les traitements expérimentaux ont été trouvées. A 7 jours, les D- boivent 1.5 fois plus souvent que les D+ sur régime maïs et 2.5 fois plus souvent sur régime alternatif. A 3 semaines, une différence significative persiste entre D+ Maïs et D- Maïs, les seconds buvant 2.0 fois plus souvent que les premiers. Après cet âge, l'interaction lignée-régime n'est plus significative, mais les D- maintiennent une fréquence d'abreuvement plus importante que les D+ (P>0.05 à 5 semaines, P<0.05 à 7 semaines). Cet abreuvement plus fréquent ne peut être relié à un comportement d'alimentation plus fréquent. En effet, à 7 jours, sur régime alternatif, les D+

mangent 1.2 à 1.3 fois plus souvent que les D-, même si la différence entre les deux lignées n'est pas significative. Seul l'effet du régime est significatif sur la fréquence de comportement alimentaire, les animaux nourris au blé mangeant 1.3 fois plus souvent que ceux nourris au maïs.

La seule autre différence comportementale observée porte sur le temps passé debout en fin d'élevage. A 35 jours, l'interaction entre lignée et régime est significative, mais elle ne permet de distinguer que les animaux D+ nourris au maïs des D- nourris au blé. Les effets principaux montrent que les animaux nourris au maïs se tiennent debout plus fréquemment que ceux nourris au blé ( $P < 0.01$ ) et que les D+ sont plus debout que les D- ( $P = 0.06$ ). A 49 jours, sur régime alternatif, les deux lignées différaient significativement, les D+ se tenaient debout plus que les D- tandis que sur régime maïs la différence entre les lignées n'était pas significative.

Tableau 12. Proportion moyenne d'animaux ( $\pm$  écart-type) dans chaque type de comportement en fonction de l'âge, du régime et de la lignée.

Action	Age (jours)	Significativité de l'interaction lignée-régime <sup>1</sup>	D+ Blé	D+ Maïs	D- Blé	D- Maïs
Boire	7	***	2.68 $\pm$ 4.59 <sup>b</sup>	2.76 $\pm$ 4.18 <sup>b</sup>	6.95 $\pm$ 8.20 <sup>a</sup>	4.11 $\pm$ 5.53 <sup>ab</sup>
	21	*	4.24 $\pm$ 6.19 <sup>ab</sup>	3.00 $\pm$ 4.70 <sup>b</sup>	4.77 $\pm$ 5.81 <sup>ab</sup>	6.09 $\pm$ 7.08 <sup>a</sup>
	35	Ä	3.72 $\pm$ 7.39 <sup>ab</sup>	3.09 $\pm$ 6.55 <sup>ab</sup>	3.93 $\pm$ 7.54 <sup>a</sup>	2.55 $\pm$ 7.24 <sup>b</sup>
	49	Ä	2.88 $\pm$ 6.22	2.18 $\pm$ 4.97	3.97 $\pm$ 6.02	3.08 $\pm$ 6.17
Manger	7	**	9.47 $\pm$ 8.29 <sup>a</sup>	7.38 $\pm$ 9.16 <sup>ab</sup>	8.01 $\pm$ 7.21 <sup>a</sup>	5.62 $\pm$ 7.51 <sup>b</sup>
	21	NS	5.52 $\pm$ 6.52	4.88 $\pm$ 5.95	7.56 $\pm$ 8.63	4.64 $\pm$ 5.67
	35	NS	1.79 $\pm$ 4.75	2.06 $\pm$ 4.34	2.82 $\pm$ 5.53	3.29 $\pm$ 6.59
	49	NS	3.43 $\pm$ 7.65	3.25 $\pm$ 6.62	3.55 $\pm$ 6.64	2.28 $\pm$ 4.43
Marcher	7	NS	4.63 $\pm$ 6.72	5.69 $\pm$ 7.48	3.61 $\pm$ 7.51	5.66 $\pm$ 9.05
	21	NS	3.90 $\pm$ 5.58	5.45 $\pm$ 7.63	4.10 $\pm$ 5.67	6.74 $\pm$ 0.1057
	35	NS	3.08 $\pm$ 6.23	3.25 $\pm$ 6.54	3.03 $\pm$ 5.17	2.47 $\pm$ 5.17
	49	NS	1.47 $\pm$ 3.96	1.60 $\pm$ 4.29	2.05 $\pm$ 4.23	1.45 $\pm$ 4.23
Debout	7	NS	44.90 $\pm$ 20.42	43.90 $\pm$ 18.43	43.25 $\pm$ 23.59	42.80 $\pm$ 23.59
	21	NS	26.53 $\pm$ 19.94	24.71 $\pm$ 18.40	25.12 $\pm$ 18.14	27.40 $\pm$ 18.14
	35	**	11.93 $\pm$ 13.94 <sup>ab</sup>	15.93 $\pm$ 14.97 <sup>a</sup>	12.37 $\pm$ 18.32 <sup>b</sup>	15.38 $\pm$ 18.32 <sup>ab</sup>
	49	***	12.61 $\pm$ 14.23 <sup>a</sup>	9.41 $\pm$ 10.52 <sup>ab</sup>	8.40 $\pm$ 12.00 <sup>b</sup>	13.24 $\pm$ 12.00 <sup>a</sup>
Couché	7	NS	38.30 $\pm$ 24.07	40.24 $\pm$ 20.29	38.16 $\pm$ 26.19	41.79 $\pm$ 26.19
	21	NS	59.77 $\pm$ 24.03	61.93 $\pm$ 20.59	58.42 $\pm$ 22.56	55.10 $\pm$ 22.56
	35	NS	79.45 $\pm$ 18.98	75.64 $\pm$ 19.01	77.82 $\pm$ 21.34	76.28 $\pm$ 21.34
	49	Ä	79.58 $\pm$ 18.07	83.54 $\pm$ 16.11	82.02 $\pm$ 15.07	79.92 $\pm$ 15.07

<sup>1</sup> : NS =  $P > 0.10$  ; Ä =  $P < 0.10$  ; \* =  $P < 0.05$

## 2.2. Résultats relevant du pilier économique de la durabilité : Performances zootechniques :

### 2.2.1. Poids vif et croissance :

A l'éclosion, aucune différence significative n'existe entre les deux lignées. Entre le 7<sup>ème</sup> et le 35<sup>ème</sup> jour, les D- maïs ont une croissance plus rapide que les animaux élevés sur blé (D+ et D-) A partir du 42<sup>ème</sup> jour, les D- blé ont une croissance significativement plus lente que les trois autres traitements. A 54 jours, la différence entre D+ et D- était de 5.4% sur régime alternatif (P< 0.05) et seulement de 1.6% sur maïs (P> 0.05) (figure 10).

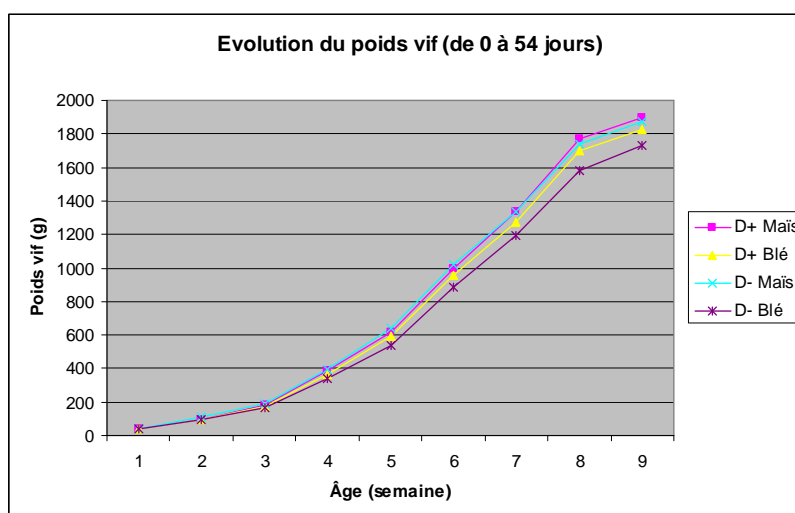


Figure 10. Evolution du poids vif des quatre traitements expérimentaux.

### 2.2.2. Consommation et efficacité alimentaires

A 1 semaine, aucun effet n'est significatif sur la consommation alimentaire (Tableau 13). A 2 semaines, les D+ consomment moins d'aliment que les D- sur régime maïs (-45.13%) et alternatif (-46.25%). L'interaction entre génétique et nutrition sur la consommation alimentaire est significative à partir de 21 jours.

Tableau 13. La consommation journalière (g/animal/jour). (LS Means  $\pm$  standard error).

Âge (jours)	D+ Maïs	D+ Blé	D- Maïs	D- Blé
7	17.00 $\pm$ 0.81	15.00 $\pm$ 0.81	18.00 $\pm$ 0.81	16.00 $\pm$ 0.81
14	11.23 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>	10.98 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>	20.47 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>	20.43 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>
21	28.66 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>	25.28 $\pm$ 1.12 <sup>ab</sup>	22.58 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>	29.17 $\pm$ 1.12 <sup>a</sup>
28	38.62 $\pm$ 1.52 <sup>c</sup>	36.18 $\pm$ 1.52 <sup>c</sup>	46.97 $\pm$ 1.52 <sup>b</sup>	53.87 $\pm$ 1.52 <sup>a</sup>
35	58.12 $\pm$ 2.08 <sup>bc</sup>	56.15 $\pm$ 2.08 <sup>c</sup>	65.70 $\pm$ 2.08 <sup>b</sup>	76.51 $\pm$ 2.08 <sup>a</sup>
42	86.26 $\pm$ 2.82 <sup>bc</sup>	80.61 $\pm$ 2.82 <sup>c</sup>	92.90 $\pm$ 2.82 <sup>b</sup>	105.68 $\pm$ 2.82 <sup>a</sup>
49	110.76 $\pm$ 3.34 <sup>b</sup>	102.23 $\pm$ 3.34 <sup>b</sup>	114.91 $\pm$ 3.34 <sup>ab</sup>	125.70 $\pm$ 3.34 <sup>a</sup>
54	128.76 $\pm$ 3.92 <sup>ab</sup>	115.94 $\pm$ 3.92 <sup>b</sup>	125.59 $\pm$ 3.92 <sup>ab</sup>	136.71 $\pm$ 3.92 <sup>a</sup>

A 21 jours, les D+ consomment 21.2% de plus sur régime maïs et 13.3% de moins sur régime alternatif que les D-. Entre 28 et 54 jours, les D+ consomment de 15.2 à 32.8% moins que les

D- ( $P < 0.05$ ) sur régime alternatif, la différence s'atténuant avec l'âge. En revanche, sur régime maïs la différence entre D+ et D- n'est significative qu'à 28 jours (-17.7%).

Le résultat cumulé des différences de croissance et de consommation alimentaire est un indice de consommation plus faible chez les D+ que chez les D- sur les deux régimes (-9.4% sur régime maïs et -26% sur régime alternatif, tableau 14). L'interaction entre génétique et nutrition en ce qui concerne l'IC est significative à 2, 3 et 5 semaines. A chaque fois, on observe un fort effet du régime chez les D- qui présentent un indice beaucoup plus élevé avec un régime blé qu'avec un régime maïs. A l'opposé, il n'y a pas d'effet du régime chez les D+. Un effet de lignée a été observé à tous les âges, sauf à 4 semaines, âge auquel l'indice des D- Blé baisse alors que celui des autres traitements commence à monter. La différence d'IC entre D- et D+ varie selon l'âge entre 8.3 et 23.8% sur régime maïs et entre 8.4 et 45.62% sur régime alternatif, les différences étant beaucoup plus marquées en début de croissance. L'effet du régime n'est significatif qu'aux âges auxquels l'interaction entre lignée et régime est significative, même si une tendance existe autour de ces âges, le régime alternatif induisant des indices plus élevés que le régime maïs à 1 (2.32 vs 1.98,  $P = 0.06$ ) et 6 semaines (2.20 vs 2.06,  $P = 0.053$ ).

Tableau 14. L'indice de consommation. (LS Means  $\pm$  standard error)

Âge (jours)	D+ Maïs	D+ Blé	D- Maïs	D- Blé
7	1.65 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	1.72 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	2.30 $\pm$ 0.17 <sup>ab</sup>	2.91 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>
14	2.11 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	2.22 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	2.08 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	3.64 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>
21	1.50 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>	1.43 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	1.97 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	2.63 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>
28	2.19 $\pm$ 0.22	2.59 $\pm$ 0.22	2.25 $\pm$ 0.22	2.61 $\pm$ 0.22
35	1.77 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	1.89 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	1.93 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	2.30 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
42	1.87 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	2.03 $\pm$ 0.06 <sup>bc</sup>	2.24 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	2.37 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
49	2.24 $\pm$ 0.20	2.27 $\pm$ 0.20	2.65 $\pm$ 0.20	2.88 $\pm$ 0.20
54	3.15 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	3.50 $\pm$ 0.14 <sup>ab</sup>	3.56 $\pm$ 0.14 <sup>ab</sup>	3.82 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>
IC global	1.93 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	1.98 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	2.13 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	2.61 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>

### 2.2.3. Composition corporelle et qualité de la viande:

#### Effet lignée

Hormis le pHu du filet, toutes les variables de composition et de qualité de la viande sont significativement différentes entre les D+ et les D- (tableau 15). Les premiers ont un **rendement en filet** 7.8% plus élevé (6.9% vs 6.4%), et un rendement en **gras abdominal** 9.4% plus faible (2.9 vs 3.2%).

Les D+ présentent également un développement plus important du gésier (1.7% vs 1.1%) et du proventricule (0.34% vs 0.32%), soit respectivement +54.5% et +6.3%. Ce déséquilibre entraîne également un **un ratio gésier/proventricule** significativement plus élevé chez les D+ (5.1) que chez les D- (3.6). A l'opposé, le poids relatif de l'intestin est 11% plus élevé chez les D- que chez les D+.

Concernant la couleur de la viande, les D+ ont une viande plus pâle que les D- ( $L^* = 49.9$  vs 48.9) mais aussi plus jaune ( $b^* = 10.6$  vs 9.2) et plus rouge ( $a^* = -0.27$  vs -0.47), avec une différence plus marquée pour l'intensité du rouge sur maïs que sur blé.

## Effet régime

De même que pour la lignée, l'effet régime est significatif pour toutes les variables, sauf pour le rendement en filet et le poids relatif de proventricule. Le rendement en gras abdominal est 25.9% plus élevé sur régime maïs que sur régime alternatif (3.4 vs 2.7%). Le poids relatif du gésier est 15.4% plus élevé sur maïs que sur blé (1.5 vs 1.3%), alors que le poids relatif de l'intestin est 9.8% plus faible (3.7 vs 4.1%). Enfin, le poids relatif du gésier sur le poids du proventricule est également plus élevé avec un régime maïs (4.6 vs 4.1).

En ce qui concerne la qualité de la viande, le pH ultime est légèrement plus élevé sur régime maïs que sur régime alternatif (5.69 vs 5.64). Sur régime blé par rapport au régime maïs, la viande est plus pâle ( $L^* = -50.4$  vs 48.4), moins rouge ( $a^* = -0.58$  vs -0.17) et moins jaune mais uniquement chez les D- ( $b^* = 8.77$  vs 9.62).

## Effet d'interaction lignée-régime

L'interaction entre génotype et régime n'est significative que pour l'intensité de la couleur jaune du filet et pour le rapport entre partie haute (gésier et proventricule) et basse (intestin) du tractus digestif.

Les D+ ont un ratio « Gésier+Proventricule/Intestin » plus élevé que celui des D-, quel que soit le régime, mais la différence est plus prononcée sur maïs (+60.5%) que sur blé (+54.5%). Enfin, l'intensité de la couleur jaune de la viande n'est pas affectée par le régime chez les D+ alors que chez les D-, on observe une augmentation de 0.85 unité de jaune entre régime blé et maïs. Dans les 2 cas, les D+ ont une valeur plus 10.4 à 20.5% plus élevée que les D-.

Tableau 15. Moyenne des moindres carrés ( $\pm$  standard error) pour les caractères de composition corporelle, d'anatomie et de qualité de la viande.

Caractère	Significativité des effets			LSMEANS $\pm$ SE			
	L <sup>1</sup>	R	L×R	D+ Blé	D+ Maïs	D- Blé	D- Maïs
Rdt filet (%)	***	NS	NS	6.89 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	6.90 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	6.43 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	6.37 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>
Rdt gras abdominal (%)	***	***	NS	2.60 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>	3.14 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	2.75 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	3.56 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>
Rdt gésier (%)	***	***	NS	1.61 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	1.80 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	1.06 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	1.18 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>
Rdt proventricule (%)	*	NS	NS	0.34 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.33 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.33 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>
Rdt intestin (%)	***	***	NS	3.86 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	3.54 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	4.33 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	3.94 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>
Poids (gésier/proventricule)	***	***	NS	4.78 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	5.43 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	3.34 $\pm$ 0.09 <sup>d</sup>	3.85 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>
Poids (gésier+prov./intestin)	***	***	*	0.50 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.61 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.32 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	0.38 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
L*	*	***	NS	50.80 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	48.91 $\pm$ 0.35 <sup>bc</sup>	50.00 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	47.91 $\pm$ 0.38 <sup>c</sup>
a*	*	***	NS	-0.41 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	-0.13 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	-0.74 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	-0.19 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>
b*	***	***	***	10.57 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	10.58 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	8.77 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	9.62 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
pHu	NS	***	NS	5.62 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	5.68 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.65 $\pm$ 0.09 <sup>ab</sup>	5.69 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> L : effet lignée ; R : Effet régime ; L×R : interaction entre lignée et régime

## 2.3. Résultats relevant du pilier environnemental de la durabilité :

### 2.3.1. Qualité de la litière

De façon cohérente avec leur meilleur indice de consommation, les D+ ont produit moins de rejets que les D-, quel que soit le régime alimentaire, mais la différence entre lignées est plus forte sur régime alternatif (-42.8 % pour les D+) que sur régime maïs (-28.9 % pour les D+, tableau 16).



La qualité de litière est également affectée par les effets du régime et de la lignée. A 7 et 22 jours, aucune différence significative de l'humidité de litière n'a été observée entre les quatre traitements, même si la litière tend à être plus humide dans les parquets des D- (+37.61 et 22.6% sur alternatif (p= 0.14) et maïs (p= 0.5) respectivement à 7 jours et +9.9% sur alternatif à 22 jours, P= 0.4). A 51 jours, la litière est 15.3% plus humide sur maïs et 32.4% sur régime alternatif pour les D+ que pour les D-, mais seule la différence entre les D+ maïs et les D- blé est significative.

Tableau 16. Moyenne des moindres carrés des caractéristiques de rejets et de qualité de litière.

Caractère	Significativité des effets			LSMeans $\pm$ SE			
	L <sup>1</sup>	R	L×R	D+ RA	D+ RM	D- RA	D- RM
Qté de rejets (kg/kg poids vif)	***	***	***	0.65 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.50 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	1.14 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.70 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
Humidité de la litière (%)							
ó 7 jours	*	NS	NS	6.8 $\pm$ 1.1	7.2 $\pm$ 1.0	10.9 $\pm$ 1.2	9.3 $\pm$ 1.0
- 22 jours	NS	NS	NS	20.4 $\pm$ 1.5	15.1 $\pm$ 1.4	16.8 $\pm$ 1.5	16.6 $\pm$ 1.4
- 51 jours	*	NS	NS	35.7 $\pm$ 3.3 <sup>ab</sup>	37.0 $\pm$ 3.1 <sup>a</sup>	24.2 $\pm$ 3.3 <sup>b</sup>	31.3 $\pm$ 3.2 <sup>ab</sup>
Température de litière	NS	NS	***	24.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	24.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	24.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	24.4 $\pm$ 0.2 <sup>ab</sup>
NH4+ dans la litière (g/kg de litière)							
- 7 jours	***	*	*	0.30 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.31 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.66 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.36 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>
- 22 jours	*	*	NS	0.75 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	0.63 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	1.55 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	0.81 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>
- 51 jours	NS	NS	NS	4.59 $\pm$ 0.52	4.10 $\pm$ 0.52	4.58 $\pm$ 0.52	3.36 $\pm$ 0.52

<sup>1</sup> L : effet lignée ; R : Effet régime ; L×R : interaction entre lignée et régime

L'interaction entre régime et lignée est significative sur la température de litière. En effet, la température de litière est plus élevée de 0.5°C sur régime maïs que sur régime blé alors que la différence (non significative) est inversée chez les D-. De ce fait, les D+ et les D- ne diffèrent pas significativement, alors que les premiers présentent une température 0.8°C plus élevée que les seconds sur régime blé.

La litière des D- contient 2,1 à 2,2 fois plus d'azote ammoniacal (NH4+) que celle des D+ sur régime alternatif à 7 et à 21 jours. Sur maïs, la tendance est identique mais la différence n'est pas significative. Enfin, à 51 jours, les 4 traitements ne présentent plus de différence significative pour la teneur en NH4+.

### 2.3.2. Qualité de l'air

Les émissions gazeuses de NH3, CO2 et N2O ne présentent pas de différence significative entre lignées, régimes ni d'interaction entre lignée et régime (tableau 17). Seule l'interaction pour le NH3 était significative à 51 jours. A cet âge, les D- émettaient moins d'ammoniac que les D+ sur les deux régimes, la différence n'étant significative que sur régime alternatif.

Tableau 17. L'émission d'ammoniac (mg de NH<sub>3</sub>/animal/jours).

Caractère	Age (j)	Significativité de l'effet			LSMeans (mg/ animal/ j)			
		L <sup>1</sup>	R	L×R	D+ maïs	D+ blé	D- maïs	D- blé
NH3	7	NS	NS	NS	0.09	0.20	0.12	0.05
	21	NS	NS	NS	0.01	0.07	0.04	0.03
	51	***	NS	NS	142.52 <sup>ab</sup>	152.96 <sup>a</sup>	28.37 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>b</sup>
CO2	7	NS	NS	NS	199.39	498.89	298.93	264.90
	21	NS	NS	NS	548.72	769.90	761.82	317.02
	51	NS	NS	NS	22028.85	15018.96	20601.15	17225.24
N20	7	NS	NS	NS	0.01	0.00	0.04	0.02
	21	NS	NS	NS	0.01	0.02	0.05	0.01
	51	NS	NS	NS	0.63	0.82	0.92	0.55

<sup>1</sup> L : effet lignée ; R : Effet régime ; L×R : interaction entre lignée et régime

Tableau 18. Contribution des différents caractères à la variabilité des axes retenus de l'analyse ACM.

	Caractères économiques			Caractères sociaux			Caractères environnementaux				
	Axe 1	Axe 2	Axe 3		Axe 1	Axe 2	Axe 3		Axe 1	Axe 2	Axe 3
GP1 <sup>1</sup>	1.73	3.24	4.99	M2	4.88	2.49	0.23	REJETS	2.46	2.24	3.91
PV0	1.24	<b>10.06</b>	0.15	MCUM8	4.57	1.98	0.79	HUM1	1.92	3.10	0.99
PV21	0.01	2.69	<b>5.74</b>	BOIT1	3.74	0.02	1.14	HUM3	0.39	0.88	<b>6.27</b>
PV54	0.91	1.69	<b>7.61</b>	BOIT3	1.14	0.02	2.99	HUM8	3.10	4.43	0.01
PH	0.11	<b>6.46</b>	0.63	BOIT8	1.62	0.01	0.70	TEMP1	1.98	2.52	0.63
L	0.09	0.25	<b>12.51</b>	MANG1	0.30	0.00	1.11	TEMP3	0.79	0.50	0.01
a*	3.51	0.26	2.95	MANG3	0.52	3.25	0.92	TEMP8	0.87	2.98	<b>5.43</b>
b*	0.00	1.10	0.56	MANG8	0.09	0.03	2.63	AMM3	3.04	1.57	2.93
FILET	<b>5.75</b>	1.85	0.68	MARC1	0.63	<b>5.12</b>	0.02	AMM8	0.61	0.00	4.14
GRAS	0.34	0.49	<b>12.31</b>	MARC3	1.16	2.46	0.84				
GESIER	<b>7.59</b>	2.02	0.91	MARC8	1.65	1.01	1.44				
PROV	0.19	0.14	3.20	DEBO1	2.41	0.16	1.58				
INT	4.76	0.29	1.63	DEBO3	2.24	<b>7.88</b>	0.22				
GP/I	<b>7.59</b>	2.02	0.91	DEBO8	1.06	2.53	0.05				
CONS7	<b>6.13</b>	1.99	0.53	COUC1	1.78	3.41	0.00				
CONS21	<b>6.82</b>	0.14	0.48	COUC3	0.01	0.00	2.90				
CONS54	1.10	0.48	1.27	COUC8	0.78	<b>5.41</b>	0.94				
IC	<b>7.04</b>	1.70	0.02	PODO1	0.85	<b>6.76</b>	0.00				
				PODO3	0.48	2.37	0.08				

<sup>1</sup> GP1 : gain de poids relatif entre 0 et 7 jours, PVX : poids vif à X jours, PH : pH ultime du filet, L, a\*, b\* : luminance, intensité du rouge et du jaune dans le filet, FILET, GRAS, GESIER, PROV, INT : rendement en gésier, gras abdominal, proventricule et intestin ; GP/I : ratio du poids du gésier et du proventricule sur le poids de l'intestin ; CONSX : consommation alimentaire à X jours ; M2 : mortalité pendant la 2<sup>ème</sup> semaine, MCUM : mortalité cumulée sur 8 semaines ; BOITX, MANGX, MARCX, DEBOX, COUCX : fréquence du comportement d'abreuvement, d'alimentation, de marche, de station debout ou couchée à X semaines ; PODOX : score moyen de pododermatites à X semaines ; REJETS : quantité totale de rejets par kg de viande ; HUMX, TEMPX : taux d'humidité et température moyenne de la litière à X semaines ; AMMX : taux d'azote ammoniacal moyen de la litière à X semaines.





## 2.4. Analyse factorielle en correspondances multiples

Les premiers trois axes de l'analyse des correspondances multiples (ACM) ont été retenus car ils expliquent près de la moitié de la variabilité des caractères relevant des trois piliers de la durabilité. La part de la variabilité totale expliquée par chacun de ces axes est de 22.14, 19.83 et 9.25% pour le 1<sup>er</sup>, le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> axe, respectivement.

En ce qui concerne le 1<sup>er</sup> axe, les caractères qui y contribuent les plus sont ceux qui relèvent du piler économique, qui expliquent 54.9% de la variabilité de cet axe alors que les caractères relevant des piliers social et environnemental expliquent 29.9% et 15.1% respectivement de cette variabilité (tableau 18). Le 2<sup>ème</sup> axe relève plus fortement des caractères du pilier social, qui expliquent 44.9% de sa variabilité totale. Les caractères économiques contribuent aussi à la variabilité de cet axe, ils en représentent 36.9%. La contribution des caractères environnementaux à cet axe n'est que de 18.2%. Quant au 3<sup>ème</sup> axe, ce sont encore les caractères économiques qui représentent la part la plus importante de la variabilité de cet axe (57.1%). Ils sont suivis par les caractères sociaux qui expliquent 44.9% de cette variabilité. La part de variabilité de cet axe expliquée par les caractères environnementaux s'élève à 24.4%.

Le 1<sup>er</sup> axe met en évidence une différence significative entre les deux lignées alors que le 3<sup>ème</sup> met en évidence des différences significatives entre les deux régimes alimentaires. En revanche, le 2<sup>ème</sup> axe ne permet pas de distinguer les lignées ni les régimes de façon significative.

La figure 11 représente le plan comprenant les axes 1 et 2, et permet donc de décrire les combinaisons de caractères qui distinguent les deux lignées. Cette distinction se fait essentiellement sur des caractères relevant du piler économique. Seule la moitié des modalités contribuant le plus à ces axes ont été conservées pour faciliter la lecture. Les D+ se caractérisent par un gain de poids à 7 jours, un rendement en filet, un rendement de gésier plus importants, une consommation alimentaire à 7 et à 14 jours et un IC global plus faibles que les D-. Ces caractères contribuent à 41% de la variabilité totale du 1<sup>er</sup> axe. Dans une moindre mesure, les D+ se distinguent également des D- par des caractères d'environnement tels qu'une quantité de rejets plus faible et une humidité de litière plus élevée à 1 semaine, ainsi que par des caractères du pilier social avec une mortalité plus faible et une fréquence d'abreuvement plus faible.

La figure 12 représente les axes 1 et 3 de l'ACM et permet ainsi de mettre en évidence les différences entre les quatre traitements expérimentaux. Là encore, la moitié des modalités contribuant le moins au plan ont été retirées du graphique.

Sur le troisième axe, on peut distinguer les régimes maïs et alternatif. Le régime alternatif se traduit par une combinaison de poids vif à 54 jours élevé, d'une forte luminosité de la viande et d'un rendement en gras abdominal faible. Quelques caractères relevant du pilier environnemental comme l'humidité de la litière à 21 jours et la température de la litière à 54 jours participent également pour 38.1 et de 11.7% respectivement à sa variabilité. On peut par exemple noter que si les D- nourris avec un régime alternatif sont caractérisés par une humidité de litière faible à 8 semaines, une température de litière élevée à 3 semaines et une grande quantité de rejets, la caractérisation des D+ nourris avec un maïs nécessite d'ajouter un taux d'azote ammoniacal faible à 3 semaines. En revanche, les D+ nourris au blé et les D- nourris au maïs se trouvent sur un axe orthogonal, ce qui implique qu'ils sont décrits par des caractéristiques différentes des deux premiers. On peut ainsi constater que sur cette ligne « D+ Blé ó D- Maïs », on trouve le gain de poids à 1 semaine, le pH de la viande et le poids vif à l'éclosion, les 2 premiers étant plus faibles et le 3<sup>ème</sup> plus élevé chez les D+ Blé que chez les D- Maïs.

## Chapitre 3 : Discussion :

Le projet CARNOT visait à proposer une combinaison de stratégies génétiques et nutritionnelles pour améliorer la durabilité des systèmes de production du poulet de chair. De ce fait, les résultats seront, en ce qui suit, discutés du point de vue de la durabilité et regroupés sous ses trois piliers : l'économie, le social et l'environnement (figure 13).

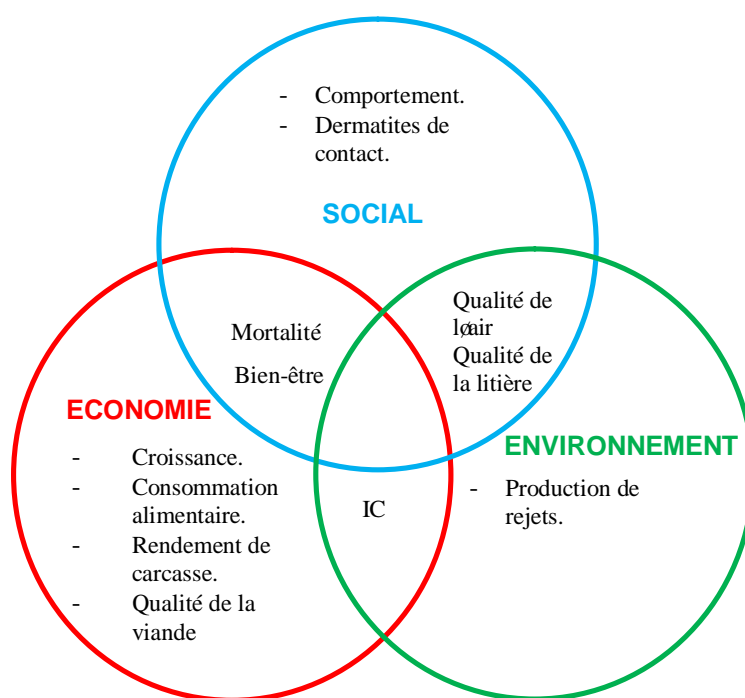


Figure 13. Répartition des caractères mesurés dans les trois piliers de la durabilité.

### 3.1. Le social :

La mortalité plus élevée chez les D- que chez les D+ particulièrement sur régime alternatif peut être expliquée par plusieurs hypothèses. D'abord, même si les D- avaient un potentiel d'absorption plus important que les D+, la disponibilité des nutriments dans le contenu intestinal chez eux est inférieure à celle chez les D+ (de Verdal, 2011) et leur capacité à digérer l'amidon, les protéines et les lipides est réduite (-35%, -8% et -17% respectivement) en comparaison aux D+ (de Verdal, 2011) ce qui les rend plus susceptibles aux carences nutritionnelles et augmente leur taux de mortalité. Ces résultats ont été obtenus avec le régime de sélection, utilisant un blé Rialto difficile à digérer (Carré et al., 2002). Cependant, dans notre cas, le régime utilisé présentait également une teneur réduite en soja, une teneur accrue en fibres, ce qui le rendait encore plus difficile à digérer et risquait donc d'accroître les difficultés de digestion. Pendant la période de croissance, le régime contenait également une teneur réduite en acides aminés soufrés (méthionine et cystine). Ces acides aminés sont particulièrement importants pour la croissance des plumes, qui est exponentielle de 2 à 6 semaines (Hancock et al., 1995). Or, c'est précisément au moment où cet aliment a été donné aux animaux que les D-, dont la vitesse de plumage diffère de celui des D+, ont montré une mortalité très élevée. Enfin, on peut remarquer qu'à cet âge, les animaux ne disposent plus des réserves de nutriments du sac vitellin, et que ceux qui ne sont pas à même de digérer

l'aliment difficile vont présenter les premiers effets des carences. Au-delà de la 3<sup>ème</sup> semaine, les survivants semblent s'être adaptés au régime, puisque le taux de mortalité redescend quasiment à 0 pour les deux lignées. Cette différence de capacité de digestion ne peut cependant à elle seule expliquer la différence de mortalité entre D+ et D-, car celle-ci est également présente, bien que dans une moindre mesure, pour les animaux nourris au maïs. On peut ici envisager une différence de qualité de poussins, car les animaux ont été obtenus avec des femelles en fin de ponte, au moment où la courbe de ponte amorçait une forte chute, et les poussins D- étaient plus légers que les poussins D+, donc probablement plus fragiles, ce que l'on n'observe habituellement pas avec des poussins obtenus plus tôt dans le cycle des poules.

Les dermatites de contact sont considérées comme indicateurs de bien-être animal en raison de la multiplicité des facteurs qui les causent ou y prédisposent les animaux. Dans notre étude, l'incidence des dermatites à 7 jours est relativement faible par rapport aux observations de Mirabito et al. (2007) qui ont enregistré une prévalence de 54% à 6-10 jours. Cependant, dans notre cas, la prévalence de pododermatites progressait de façon exponentielle avec l'âge des animaux pour arriver à 100% à 8 semaines. L'utilisation de la paille de blé comme litière, dans cette étude, peut expliquer l'incidence précoce et la prévalence élevée des pododermatites pour les différents traitements ce qui est corroboré par Meluzzi et al. (2008) qui ont montré une prévalence de pododermatites plus élevée (+54.5%) sur paille que sur copeaux de bois.

La sévérité des scores de pododermatites est très faible dans notre étude, par rapport aux études de Mayne et al. (2007) et de Youssef. (2011) qui ont trouvé un score moyen de sévérité de 5.3 à 6 jours et de 7 à 6 semaines respectivement sur une échelle de 7 scores chez la dinde en croissance. On peut également noter dans notre cas que, si à l'éclosion, la sensibilité de la souche est prépondérante (les D+ présentant des scores plus élevés que les D-), l'effet régime devient plus important avec le temps, en interaction avec le génotype à 3 semaines, puis seul à 8 semaines. De même que dans l'étude de Olivère (2010), on trouve que l'aliment le plus complexe à digérer est celui qui aboutit aux scores les plus élevés de pododermatites. Il est probable que la vitesse de croissance plus faible du génotype utilisé dans notre étude, ainsi que la densité relativement faible par rapport à celle initialement prévue soient également des facteurs explicatifs importants pour la faiblesse du score de pododermatites. En effet, celle-ci n'a atteint que 11.15 kg/m<sup>2</sup> très en-dessous de la limite de 33 à 42 kg/m<sup>2</sup> fixée par la directive Européenne de bien-être du poulet de chair (43/CE/juillet 2007). De ce fait, l'humidité de la litière, facteur déterminant de la sévérité des dermatites de contact, n'a pas dépassé 10%, 22% et 42% à 7, 22 et 51 jours dans notre étude alors qu'elle était de 74% à 6 jours dans l'étude de Mayne et al. (2007) et de 73% à 3 semaines dans celle de Youssef. (2011). La dégradation de la litière n'est donc pas arrivée à un point tel qu'elle entraînait l'incidence des formes sévères de pododermatites (scores 7, 8 et 9). Ces mêmes raisons pourraient expliquer les scores de sévérité très faibles voire négligeables des brûlures de tarse et des ampoules du bréchet enregistrés dans l'étude présente. Enfin, cela peut expliquer que les scores moyens de pododermatites n'apparaissent pas comme critère discriminant les 2 lignées et les 2 régimes de notre étude dans l'ACM.

Le scan sampling a mis en évidence quelques différences ponctuelles dans le comportement des deux lignées. Le comportement d'abreuvement permet de distinguer les deux souches dès 1 semaine, avec une fréquence moindre chez les D+. Cette différence s'atténue avec l'âge, ce qui explique que seul le comportement d'abreuvement à 1 semaine apparaisse dans l'ACM. Cette analyse a aussi montré des différences de temps passé couché à 35 et 49 jours, mais elles ne vont pas dans la même direction entre ces 2 semaines successives. Nos résultats semblent donc confirmer de précédentes études indiquant que la sélection divergente pour une

haute (D+) ou faible (D-) capacité digestive influencerait peu (comportement alimentaire) ou pas (comportement exploratoire et social) le répertoire comportemental du poulet de chair (Mignon-Grasteau et al., 2010). Il faut cependant nuancer cette conclusion, car le nombre de données collectées était relativement faible, et que la correction de *Bonferroni* appliquée pour prendre en compte la multiplicité de tests 2 à 2 entre traitements a affaibli la puissance de notre dispositif.

### 3.2. *L'économie :*

D'un point de vue économique, les caractères mis en évidence par l'ACM comme permettant de distinguer les D+ et les D- sont la consommation alimentaire, l'RC, le rendement de carcasse notamment celui du filet. Les D+ se caractérisent par de meilleures performances par comparaison aux D-, essentiellement en termes de consommation et d'efficacité alimentaire. Cela est cohérent avec le fait qu'ils ont été sélectionnés sur leur efficacité digestive.

La sélection divergente pour une haute (D+) ou faible (D-) capacité digestive s'est accompagnée de changements morphologiques dans le tube digestif, les D+ présentant un gésier plus développé et un intestin moins développé que les D- (de Verdal, 2011). Ces résultats ont été retrouvés dans la présente étude, puisque les D+ présentent un poids relatif de gésier et de proventricule plus important que les D-, quel que soit le régime. Un gésier plus développé permet un meilleur broyage de l'aliment et un proventricule plus développé une sécrétion des enzymes indispensables à la digestion plus importante (Svihus, 2011). Cette distinction entre les 2 lignées est cohérente avec les corrélations génétiques fortes estimées entre le critère de sélection (EMan) et l'indice de consommation (-0.77 à -0.98), le poids du gésier et du proventricule (0.43-0.59), de l'intestin (-0.36 à -0.77) et la consommation alimentaire (-0.75, Mignon-Grasteau et al., 2004 ; de Verdal, 2011).

Les D+ ont également un rendement plus élevé en filet et plus faible en gras abdominal que les D- sur les deux régimes, ce qui avait déjà été observé précédemment (de Verdal, 2011). Cela peut être expliqué par le fait que les D- consomment plus d'aliment notamment sur régime alternatif ce qui entraîne une augmentation de la sécrétion d'insuline. Cette hormone a pour effet de diminuer le dépôt de protéines et d'augmenter celui de lipides (de Verdal, 2011). On peut également supposer que la surconsommation alimentaire des D- est liée à leur plus faible capacité à digérer. De fait, pour assurer leurs besoins protéiques, ils augmenteraient leur consommation alimentaire et auraient donc un excès d'énergie. Or, lorsque le ratio « Energie/Protéines » augmente, l'excès énergétique est stocké sous forme de lipides.

Enfin, les caractères de qualité de viande diffèrent entre les 2 lignées dans des proportions modérées, dans le même ordre de grandeur que dans les études de de Verdal (2011). L'ACM a révélé que le critère de qualité permettant la discrimination la plus pertinente entre les deux souches était l'intensité de la couleur rouge de la viande, plus prononcée chez les D+. Le régime blé se distingue du régime maïs par une viande plus pâle, moins rouge et légèrement plus acide. La différence de luminosité et de couleur rouge peut en partie être expliquée par les différences de pHu entre les deux régimes (une diminution du pHu entraîne une augmentation de la luminosité) et par la teneur en pigments caroténoïdes (xanthophylle et carotènes) plus élevée en maïs qu'en blé (Mateo et Carandang, 2006).

### 3.3. *L'environnement :*

Les D+ ont produit 43% ( $p < 0.05$ ) de moins de rejets que les D- sur régime alternatif et 29% de moins sur régime maïs par kg de poids vif, en accord avec l'écart trouvé (41.3%) sur



régime blé par de Verdal. (2011). Cette différence s'explique par la consommation alimentaire inférieure et par le meilleur coefficient d'utilisation digestive de matière sèche des D+. Ce coefficient est le premier caractère qui permet de distinguer les D+ et les D- dans l'ACM, où il se situe à proximité des caractères anatomiques. En effet, les rejets sont fortement liés à la morphologie du tube digestif, en particulier au rapport entre la partie haute et basse du tube digestif. On peut également noter que dans cette ACM, les rejets importants sont associés à une humidité de litière plus élevée à 1 et 8 semaines, second critère qui permet de distinguer les deux souches. De Verdal. (2011) ont également montré que l'excréta des D+ contenait 7.9% de plus d'eau que celui des D- à 3 semaines. Dans le second graphe d'ACM (axes 1 et 3), on peut également constater que les profils des D+ nourris au maïs et des D- nourris au blé sont plus marqués que ceux des D+ nourris au blé ou des D- nourris au maïs par rapport à ces critères environnementaux. En effet, les deux premiers sont relativement proches des critères environnementaux alors que les deux derniers sont isolés. On peut ainsi caractériser les D- nourris avec le régime alternatif par des rejets importants, une température de litière élevée et une humidité faible en fin d'élevage. A l'opposé, les D+ nourris au maïs présentent des rejets faibles, une température faible et une humidité élevée dans la litière en fin d'élevage, mais également un taux d'azote ammoniacal dans la litière faible. Ce taux d'azote ammoniacal plus faible chez les D+ nourris au blé peut être relié au fait que les D- rejettent deux fois plus d'azote que les D+ dans leurs fèces (de Verdal, 2011). En effet, l'azote rejeté va se transformer en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) par hydrolyse dans la litière et suite à l'activité microbienne, l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) va être produit et éventuellement émis dans l'air.

Malgré cela, les résultats du premier lot montrent que les D+ émettaient plus d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) dans l'air que les D-. L'activité microbienne dans la litière, qui consiste à dégrader l'acide urique et la partie non digérée de protéines rejetée avec les fèces et produire éventuellement l'ammoniac, dépend de l'humidité de cette litière mais aussi de sa température (Koerkamp, 1994). Ainsi, Koerkamp (1994) a montré que l'émission de l'ammoniac diminue voire cesse quand l'humidité de la litière descend en dessous de 40%. Or, le taux d'humidité de la litière était inférieure à ce seuil de 10 à 15% chez les D-, et de seulement 3 à 4% chez les D+. Il est donc normal que les D- émettent moins de  $\text{NH}_3$  même s'ils rejettent plus d'azote dans la litière du fait que la transformation de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  ne peut pas s'effectuer dans des milieux plutôt secs. Koerkamp. (1994) explique par ailleurs que l'émission de  $\text{NH}_3$  augmente avec la température notamment dans une plage de 20 à 30°C. Dans l'étude présente, les animaux des quatre traitements étaient exposés à la même température ambiante et les écarts de températures de la litière n'excédaient pas 0.8°C entre les différents traitements. Cette faible différence de température ne suffirait donc pas à provoquer une différence d'émission de  $\text{NH}_3$ . Enfin, on peut également mentionner que les rejets plus importants des D- auraient favorisé la formation d'une croûte à la surface de la litière. Or, Meluzzi et al. (2008) expliquent la formation d'une croûte épaisse et forte peut empêcher l'émission gazeuse produite par l'activité microbienne dans cette litière. Ces résultats demandent néanmoins à être confirmés lorsque les résultats du 2<sup>nd</sup> lot seront disponibles.

## Conclusion :

D'après les résultats de cette étude, la sélection génétique des poulets de chair sur l'énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul ( $EMA_n$ ) a modifié des caractères relevant des trois piliers du développement durable, ce qui confirme l'intérêt de prendre en compte de nombreux critères afin d'évaluer l'impact de cette sélection sur la durabilité des systèmes de production avicole.

Au niveau du pilier économique, la sélection sur ce critère a permis d'améliorer le rendement en filet et en gras, de diminuer la consommation alimentaire et l'indice de consommation des poulets, qui ont une incidence majeure sur la rentabilité des élevages. Lorsque l'on combine cette sélection avec un aliment alternatif réduisant la compétition entre homme et animal pour l'accès aux ressources alimentaires et la dépendance aux importations de soja, mais difficile à digérer, seuls les D+ maintiennent une croissance équivalente à celle obtenue avec un régime à base de maïs facile à digérer. Au niveau du pilier social, la mortalité est faible quel que soit le régime chez les D+, alors qu'elle est très élevée chez les D-, tout particulièrement chez les D- sur régime alternatif. En revanche, le comportement des poulets sélectionnés sur ce critère n'a pas été altéré par la sélection. Malgré leur prévalence élevée, les pododermatites étaient d'une faible sévérité ce qui signifie que la sélection pour une haute capacité digestive n'influencerait pas de façon significative l'état du bien-être animal dont cette affection représente l'indicateur le plus utilisé. Au niveau du pilier environnemental, certains aspects ont été améliorés suite à la sélection notamment la production de rejets. La diminution de la quantité de rejets produite par kg de poids vif implique également la diminution de l'azote total et du phosphore rejetés dans l'environnement. En revanche, les D+ semblent avoir un effet négatif sur le dégagement d'ammoniac dans l'air et sur l'humidité de la litière, sans que cela affecte cependant la sévérité des dermatites de contact des animaux.

On peut donc conclure que la sélection sur la capacité digestive chez le poulet de chair va, d'un côté, permettre d'incorporer les matières premières alternatives dans les aliments de poulet sans compromettre les principaux indicateurs des trois piliers du développement durable. Ces résultats demandent maintenant à être enrichis par de nouveaux paramètres pour mieux décrire l'état de la litière (comme par exemple son pH et son taux de phosphore), ou des caractères de résistance aux maladies, essentielles à l'évaluation des piliers économiques et sociaux.



## Bibliographie

1. Abd El-Wahad (2011): Experimental studies of diet composition (electrolyte contents), litter quality (type, moisture) and infection (coccidian) on the development and severity of foot pad dermatitis in young turkeys housed with or without floor heating. Ph.D. thesis. University of Hannover : Germany.
2. Akbas, Y., Yalçın, S., Özkan, S., Kırkplnar, F., Takma, ç. Gevrekçi, Y., Güler, H. C., Türkmüt, L. (2008): Heritability estimates of tibial dyschondroplasia, valgus-varus, foot-pad dermatitis and Tarse burn in broiler. Arch.Geflügelk., 73:1-9.
3. Allain, V., Mirabito, L., Arnould, C., Colas, M., Le Bouquin, S., Lupo, C., Michel, V. (2009) : Skin lesions in broiler chickens measured at the slaughterhouse : relationships between lesions and between their prevalence and rearing factors. British poultry science, 50:407-417.
4. Alam M.J., M.A.R. Howlider, M.A.H. Pramanik and M.A. Haque. 2003. Effect of exogenous enzyme in diet on broiler performance. *Int J. Poult. Sci.* 2 (2): 168-173
5. Arnould, C., Colin, L. (2007) : Evaluation du bien-être des poulets de chair en élevage commercial : Premiers résultats Français issus du projet Welfare Quality. Huitième journée de la recherche avicole, St Malo, 25 et 26 mars 2009. Disponible sur : [www.inst-elevage.asso.fr/jra/data/articles/000089.pdf](http://www.inst-elevage.asso.fr/jra/data/articles/000089.pdf). (consulté le 25/06/2012).
6. Arnould, C. (2005): Bien-être du poulet de chair: mesures, problèmes rencontrés et moyens d'action. Septième journée de la recherche avicole, St Malo, 30 et 31 mars 2005. Disponible sur : <http://dc436.4shared.com/doc/mYHVaePY/preview.html>. (consulté le 28/08/2012).
7. Ask, B. (2010): Genetic variation of contact dermatitis in broilers. *Poult. Sci.* 89: 866-875.
8. Berg, C. C. (1998): Foot-pad dermatitis in broilers and turkeys: prevalence, risk factors and prevention. Ph.D. thesis. Swedish university of agricultural sciences: Sweden.
9. Bilgili, S. F., Alley, M. A., Hess, J. B., Nagaraj, M. (2006): Influence of age and sex on footpad quality and yield in broiler chickens reared on low and high density diets. *J. Appl. Poul. Res.*, 15: 433-441.
10. Bilgili, S. F., Hess, J. B., Blake, J. P., Macklin, K. S., Saenmahayak, B., Sibley, J. L. (2009): Influence of bedding material on footpad dermatitis in broiler chickens. *J. Appl. Poul. Res.*, 18:583-589.
11. Brambell, R. (1965). Report of the Technical Committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. London, United Kingdom: Her Majesty's Stationery Office.
12. Broom, D. M., Reefmann, N. (2005): Chicken welfare as indicated by lesions on carcass in supermarkets. *British poultry science*, 46:407-414.
13. Bruce, D. W., McIlroy, S. G., Goodall, E. A. (1990): Epidemiology of a contact dermatitis of broilers. *Avian pathology*, 19:523-537.
14. Carezzi, C., Verga, M. (2009): Animal welfare: review of the scientific concept and definition. *Ital.J.Anim.Sci.*, 8: 21-30.
15. Carre', B., A. Idi, S. Maisonnier, J. P. Melcion, F. X. Oury, J. Gomez, and P. Pluchard. (2002): Relationships between digestibilities of feed components and characteristics of wheats (*Triticum aestivum*) introduced as the only cereal source in a broiler chicken diet. *Br. Poult. Sci.* 43:404-415.

1. Carré, B., Mignon-Grasteau, S., Svihus, B., Péron, A., Bastianelli, D., Gomez, J., Besnard, J., Sellier, N : Nutritional effects of feed form, and wheat compared to maize, in the D+ and D- chicken lines selected for divergent digestion capacity. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> European Symposium of Poultry Nutrition: 2005; Balatonfüred, Hungary; 2005: 42 ó 44.
  2. Chavez, E., Kratzer, F. H. (1972): Prevention of foot pad dermatitis in poults with methionine. *Poultry science*, 51:1545-1548.
  3. Chavez, E., Kratzer, F. H. (1974): Effect of diet on foot pad dermatitis in poults. *Poultry science* 53:755-760.
  4. Council Directive 2007/43/EC of 28 June (2007): Laying down minimum rules for the protection of chickens kept for meat production. Official journal of the European Union.
  5. Dawkins, M. S., Donnelly, C. A., Jones, T. A. (2004): Chickent welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature*, 427:342-344.
  6. De verdal, Hugues. (2011): Possibilités de reduction des rejets chez le poulet par la selection génétique. Thèse. Université François ó Rabelais de Tours: France.
  7. Ekstrand, C., Carpenter, T. E., Andersson, I., Algers, B. (1998): Prevalence and control of foot-pad dermatitis in broilers in Sweden. *British poultry science*, 39:318-324.
  8. Greene, J. A., McCracken, R. M., Evans, R. T. (1985): A contact dermatitis of broilers-clinical and pathological findings. *Avian pathology*, 14:23-38.
  9. Grimes, J. L., Carter, T. A., Godwin, J. L. (2006) : Use of a litter material made from cotton waste, gypsum and old newsprint for rearing broiler chickens. *Poultry science*, 85:563-568.
  10. Groot Koerkamp, P.W.G. (1994): Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *J. agric. Eng. Res.* 59:73 ó 87.
  11. Hancock, C. E., G. D. Bradford, G. C. Emmans, and R. M. Gous.(1995): The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 36:247ó264.
1. Harms, R. H., Simpson, C. F. (1975): Biotin deficiency as a possible cause of swelling and ulceration of foot pads. *Poultry science*, 54:1711-1713.
  2. Hashimoto, S., Yamazaki, K., Obi, Y., Takase, K. (2011): Footpad dermatitis in broiler chickens in Japan. *Avian pathology*, 73:293-297.
  3. Haslam, S. M., Brown, S. N., Wilkins, L. J., Kestin, S. C., Warriss, P. D., Nicol, C. J. (2006): Preliminary study to examine the utility of using foot burn or Tarse burn to assess aspects of housing conditions for broiler chicken. *British poultry science*, 47:13-18.
  4. Haslam, S. M., Knowles, T. G., Brown, S. N., Wilkins, L. J., Kestin, S. C., Warriss, P. D., Nicol, C. J. (2007): Factors affecting the prevalence of foot pad dermatitis, Tarse burn and breast burn in broiler chicken. *British poultry science*, 48:264-275.
  5. Havenstein, G. B., Freket, P. R., and Qureshi, M. A. (2003): Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry science* 82: 1500-1508.
  6. Jensen, L. S., R. Martinson, and G. Schumaier. 1970. A foot pad dermatitis in turkey poults associated with soybean meal. *Poult. Sci.* 49:76-82.
  7. Kapell, D. N. R. G., Hill, W. G., Neeteson, A.-M., McAdam, J., Koerhuis, A. N. M., Avendano, S. (2012): Genetic parameters of foot-pad dermatitis and body weight in purebred broiler lines in 2 contrasting environments. *Poultry science*, 91:565-574.

8. Kestin S. C., G. Su, and P. Sørensen, (1999): Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poultry Sci.* 78:1085-1090.
1. Kjaer, J. B., Su, G., Nielsen, B. L., Sorensen, P. (2006) : Foot pad dermatitis and Tarse burn in broiler chickens and degree of inheritance. *Poultry science*, 85:1342-1348.
2. Lebart, L., Morineau, A., Lambert, T., Pleuvret, P., 1999. Système SPAD. CISIA-CERESTA, Montreuil, France.
3. Marusich, W.L., E.F. Ogrinz, M. Brand and M. Mitrovic. 1970. Introduction, prevention and therapy of biotin deficiency in turkey poults on semi-purified and commercial-type rations. *Poult. Sci.* 49:412.
4. Martland, M. F. (1984): Wet litter as a cause of planter pododermatitis, leading to foot ulceration and lameness in fattening turkeys. *Avian pathology*, 13:241-252.
5. Martland, M. F. (1985): Ulcerative dermatitis dm broiler chickens: The effects of wet litter. *Avian pathology*, 14:353-364.
6. Mayne, R. K. (2005): A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad dermatitis in growing turkeys and broilers. *World's poultry science journal*, 61:256-267.
7. Mayne, R. K., Else, R. W., Tarseing, P. M. (2007): High dietary concentrations of biotin did not prevent foot pad dermatitis in growing turkeys and external scores were poor indicators of histopathological lesions. *British poultry science*, 48:291-298.
8. Mayne, R. K., Else, R. W., Tarseing, P. M. (2007): High litter moisture alone is not sufficient to cause footpad dermatitis in growing turkeys. *British poultry science*, 48:538-545.
9. McGinnis, J., Carver, J. S. (1947): The effect of Riboflavin and Biotin in the prevention of dermatitis and perosis in turkey poults. *Poult. Sci.* 4:364-371.
10. Mcllroy, S. G., Goodall, E. A., McMurray, C. H. (1987): Acontact dermatitis pf broilers ó epidemiological findings. *Avian pathology*, 16:93-105.
11. Mendes, A. S., Paixo, S. J., Restelatto, R., Reffatti, R. Possenti, J. C., Moura, D. J., Morello, G. M. Z, Carvalho, T. M. R. (2011): Effects of initial body weight and litter material on broiler production. *Brazilian journal of poultry science*, 13:165-170.
12. MOV: Product Board for Margarine, Fats and Oils (2011): Fact Sheet Soy. Disponible en ligne sur <http://www.mvo.nl/LinkClick.aspx?fileticket=dZc7cde2b5s%3D&tabid=756&mid=4234&>.
13. Meluzzi, A., Fabbri, C., Folgatti, E., Sirri, F. (2008): Survey of chicken rearing conditions in Italy: effects of litter quality and stocking density on productivity, foot dermatitis and carcass injuries. *British poultry science*, 49:257-264.
14. Meluzzi, A., Fabbri, C., Folgatti, E., Sirri, F. (2008b): Effect of less intensive rearing conditions on litter characteristics, growth performance, carcass injuries and meat quality of broilers. *British poultry science*, 49: 509-515.
15. Mignon-Grasteau, S., Lafeuille, O., Dourmad, J. Y., Hillion, S., Bastianelli, D., Arnould, C., Phocas, F., Carré, B. (2010) : Consequences of selection for digestibility on feeding activity and excretion. In: Duclos, M., Nys, Y. (Eds.), XIIIth European Poultry Conference. *World's Poultry Science Journal*, Tours, France, p.615.
16. Miles, D. M., Branton, S. L., Lott, B. D. (2004): Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poultry science*, 83:1650-1654.
17. Mirabito, L., Colas, M., Arnould, C., Allain, V., Michel, V. (2007): Analyse des relations entre différentes lésions indicatrices du bien-être chez le poulet de chair. Septième journée de la recherche avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007. Disponible sur: <http://www.journees-de-la-recherche.org/JRA/page-JRA1024.php?page=fr&contenu=none&type=archives&annee=2007&categorie=ENVIRONNEMENT%20-%20BIEN%20ETRE>. (consulté le 25/06/2012).

18. Mirabito, L., Ziemniak, L., Chevalier, D. (2007) : Cinétique des pododermatites chez les poulets de chair élevés sur paille ou coupeaux en élevage commercial. Septième journée de la recherche avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007. Disponible sur : [http://www.journees-de-la-recherche.org/JRA/Contenu/Archives/7\\_JRA/Environnement/B74-MIRABITO-version-def.pdf](http://www.journees-de-la-recherche.org/JRA/Contenu/Archives/7_JRA/Environnement/B74-MIRABITO-version-def.pdf). (Consulté le 25/06/2012).
19. Mirza, W. M. (2011): Improvement in litter quality and leg health by nutritional modification in growing turkeys. Ph.D. thesis. University of Glasgow: Scotland.
20. Mateo, C. D., Carandang, N. F. (2006) : Feeding and economic evaluation of corn, wheat, and sorghum based diets in broilers. *Philippine journal of science*, 135:49-58.
21. Murillo, M. G., Jensen, L. S. (1976): Sulfur amino acids requirements and footpad dermatitis in turkeys poult. *Poult. Sci.* 55:554-562.
22. Nagaraj, M. (2006): Evaluation of nutrition and management factors in the aetiology of pododermatitis in broiler chickens. MS.c. thesis. Auburn university: USA.
23. Olivère, P. (2010): Bien-être du poulet de chair : détermination des conditions d'ambiance et des caractéristiques physico-chimiques de la litière responsables de l'apparition de dermatites de contact en poulet de chair. Mémoire de fin d'études en master FAGE ; biologie et écologie pour la forêt, l'agronomie et l'environnement, spécialité Biologie animale et systèmes d'élevage. Université de Nancy: France.
24. Pagazaurtundua, A., Warriss, P. D. (2006): Levels of foot pad dermatitis in broiler chickens reared in 5 different systems. *British poultry science*, 47:529-532.
25. Patrick, H., Darrow, M. I., Morgan, C. L. (1944): The role of Riboflavin in turkey poult nutrition. *Poultry science*, 23:146-148.
26. Platt, S., Buda, S., Budras, K. D. (2001): The influence of biotin on foot pad lesions in turkey poult. Page 143-148 in *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Symposium: Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier*, Germany. Micro Nutrients, Jena/Thuringia, Germany.
27. Ritz, C. W., Fairchild, B. D., Lacy, M. P. (2004): Implications of ammonia production and emissions from commercial poultry facilities: A review. *J.Appl.Poul.Res.*, 13:684-692.
28. Ritz, C. W., Fairchild, B. D., Lacy, M. P. (2005): Litter quality and broiler performance. Cooperative extension service, the university of Georgia collage of agricultural and environmental sciences, Bulletin 1267, April 2005.
29. SAS Institute (2004): SAS user's guide. Statistics. Version 9.1 ed. (Gary, NC,SAS Institute Inc.).
30. Shepherd, E. M., Fairchild, B. D. (2010): Footpad dermatitis ó invited review. *Poultry science*, 89:2043-2051.
31. Smith, A., Rose, S. P., Wells, R. G., Pirgozliev, V. (2000): Effect of excess dietary sodium, potassium, calcium and phosphorus on excreta moisture of laying hens. *British poultry science*, 41:598-607.
32. Su, G., Sorensen, P., Kestin, S. C. (2000) : A note on the effects of perches and litter substrate on leg weakness in broiler chickens. *Poultry science*, 79:1259-1263.
33. Svihus, B. (2011): The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrition availability. *World's Poul. Sci. J.* 67, 207 ó 223.
34. Tucker, S. A., Walker, A. W. (1999): Hock burn in broiler. Pages 33-50 in *Recent advances in poultry nutrition 2*. J. Wiseman and P. G. Garnsworthy, ed. Nottingham University press, Thrumpton, UK.
35. Veissier, I., Boissy, A., Capdeville, J., Sarignac, C., 2000. Le bien-être des animaux d'élevage : comment peut-on le définir et l'évaluer ? *Le Point Vétérinaire*, 31, 117-124.

36. Youssef, I.M.I (2011) : Experimental studies on effects of diet composition and litter quality on development and severity of foot pad dermatitis in growing turkeys. Ph.D. thesis. University of Hannover: Germany.



## Sites Internet consultés (sources en ligne):

1. Asia trade watch. Playing chicken: The U.S.-China "broiler feet" dispute, [**En ligne**], disponible sur : [http://atw.v-n-v.com/cases/0011/case\\_view.html](http://atw.v-n-v.com/cases/0011/case_view.html) (Consulté le 13/09/2012).
2. Impacts de l'élevage sur l'environnement, [**En ligne**], disponible sur : <http://www.conservation-nature.fr/article2.php?id=105>. (Consulté le 21/06/2012).
3. The Washington post : U.S., China embroiled in trade spat over chicken feet, [**En ligne**], disponible sur : [http://www.washingtonpost.com/world/asia\\_pacific/us-china-embroiled-in-trade-spat-over-chicken-feet/2011/12/13/gIQASphjxO\\_print.html](http://www.washingtonpost.com/world/asia_pacific/us-china-embroiled-in-trade-spat-over-chicken-feet/2011/12/13/gIQASphjxO_print.html) (Consulté le 13/09/2012).
4. Penn State Extension Poultry Team, Penn State college of agricultural sciences, [**En ligne**], disponible sur : [http://poultryextension.psu.edu/SalesandService/2011\\_Broiler-PDF/Kelly.pdf](http://poultryextension.psu.edu/SalesandService/2011_Broiler-PDF/Kelly.pdf).
5. Study on the implications of asynchronous GMO approvals for EU imports of animal feed protein, [**En ligne**], disponible sur : [http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/asynchronous-gmo-approvals/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/asynchronous-gmo-approvals/index_en.htm). (Consulté le 28/06/2012).
6. Veterinary medicine: Biotin, [**En ligne**], disponible sur : <http://univetmedicine.com/home/?p=553> (Consulté le 12/06/2012).
7. Vers plus d'indépendance en soja d'importation pour l'alimentation animale en Europe, [**En ligne**], disponible sur : <http://www.wwf.fr> (consulté le 28/06/2012).

